



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**CHLAZENÍ A MAZÁNÍ ROTUJÍCÍCH KULIČKOVÝCH
MATIC**

COOLING AND LUBRICATION OF ROTATING BALL NUTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Václav Dočekal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Jiří Marek, Dr.

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Václav Dočekal**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **prof. Ing. Jiří Marek, Dr.**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Chlazení a mazání rotujících kuličkových matic

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Chlazení a mazání rotujících matic je doposud neuspokojivě vyřešená problematika, která přináší výrobcům obráběcích strojů s velkým zdvihem v jednotlivých osách řadu problémů. Jedná se zejména o kvalitní přívod maziva do místa uložení rotující matice a odvod vygenerovaného tepla. Je třeba navrhnout takový systém chlazení a mazání, který bude vyhovovat sortimentu rotujících matic z produkce firmy KS precise motion.

Cíle diplomové práce:

1. Rozbor současného stavu vědy a techniky u kuličkových šroubů s rotující maticí
2. Systémový rozbor kuličkových šroubů s rotující maticí
3. Návrh variant konstrukce chlazení a mazání kuličkových šroubů s rotující maticí a zdůvodnění výběru optimální varianty řešení
4. Technické výpočty
5. Komentář k přiložené výkresové dokumentaci

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

JANÍČEK, Přemysl a Jiří MAREK. Expertní inženýrství v systémovém pojetí. Praha: Grada, 2013. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4127-7.

BORSKÝ, Václav. Základy stavby obráběcích strojů. Brno: Vysoké učení technické, 1986.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se věnuje tématu mazání a chlazení rotujících matic kuličkového šroubu. První část se zabývá rešerší kuličkových šroubů a rotujících matic. V druhé polovině práce byly vypracovány tři varianty konstrukce, kde každé z řešení je navrženo jako externí přípojná jednotka chlazení a mazání, která lze namontovat k již existující, lehce upravené, rotující matici. K úkonu chlazení i mazání je využito pouze jedno médium, a tím je chlazený olej. Externí mechanismus zajišťuje přívod média do pracovního prostoru kuličkového šroubu. K závěru práce je navíc představen vlastní koncept rotující matice s integrovaným chlazením i mazáním. Představené konstrukční návrhy se můžou v budoucnu stát zajímavým artiklem na poli trhu.

ABSTRACT

Diploma thesis deals with a topic of lubrication and cooling of the ball screw rotary nuts. The first part is focused on a research behind the theory of ball screws and ball screw rotary-nuts. The three types of construction were developed in the second half of the thesis. Each construction is designed as an external attachable cooling and lubrication unit, which can be installed on an existing, slightly modified ball screw rotary-nut. For cooling and lubrication, only one type of medium is used and that is a cooled oil. External unit provides medium flow to ball screws working space. On top of diploma thesis tasks a design concept of ball screw rotary-nut with an integrated cooling and lubrication is introduced itself. Both described designs could become interesting for an industrial market.

KLÍČOVÁ SLOVA

Rotující matice kuličkového šroubu, chlazení rotující matice kuličkového šroubu, mazání rotující matice kuličkového šroubu, teorie kuličkových šroubů.

KEYWORDS

Ball screw rotary-nut, cooling of ball screw rotary-nut, lubrication of ball screw rotary-nut, ball screw theory.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DOČEKAL, V. *Chlazení a mazání rotujících kuličkových matic*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 128 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Jiří Marek, Dr.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval mému vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Jiřímu Markovi, Dr. za odborné vedení, cenné rady a v neposlední řadě za zprostředkování tématu práce. Děkuji i panu Ing. Lubomíru Ostrému za možnost spolupracovat se společností KSK Precise Motion, a.s. a za poskytnutí příjemného pracovního prostředí. Dále všem kolegům z výše jmenované společnosti, kteří byli vždy ochotni pomoci a poradit. Mé velké díky patří samozřejmě i mojí rodině, přítelkyni a kamarádům za to, že mě vždy podporovali, a to nejen během psaní této diplomové práce, ale i po dobu celého mého studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením prof. Ing. Jiřího Marka, Dr. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25.5.2018

.....

Dočekal Václav

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVACE.....	17
3	PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI KSK PRECISE MOTION.....	19
4	TEORIE KULIČKOVÝCH ŠROUBŮ.....	21
4.1	Definice a princip.....	21
4.2	Geometrie závitu.....	22
4.2.1	Gotický profil	22
4.2.2	Kruhový profil	23
4.3	Výroba kuličkových šroubů.....	23
4.3.1	Válcování.....	23
4.3.2	Okružování	23
4.3.3	Broušení.....	24
4.4	Převaděče kuliček	24
4.4.1	Externí převod	24
4.4.2	Interní lůžkový převod.....	25
4.4.3	Převod radiálními segmenty	26
4.4.4	Převod axiálními segmenty	27
4.5	Oddělovače kuliček.....	28
4.6	Mazání	28
4.7	Předepínání matic	29
4.8	Pohybové možnosti.....	32
5	KULIČKOVÝ ŠROUB S ROTUJÍCÍ MATICÍ.....	33
5.1	Definice a konstrukce rotující matice	33
5.2	Oblast využití rotující matice.....	34
5.3	Rotující kuličkové matice firmy KSK Precise Motion, a.s.....	38
5.3.1	Matice RMV	38
5.3.2	Matice RMI.....	38
6	TECHNICKÁ ŘEŠENÍ FIREM.....	41
6.1	THK	41
6.1.1	Matice BLR	41
6.1.2	Matice DIR	42
6.1.3	Řešení mazání rotující matice firmou THK	44
6.2	PMI	45
6.2.1	Matice FSWT	45
6.2.2	Matice FSKT	46
6.2.3	Řešení mazání rotující matice firmou PMI.....	47
6.3	HIWIN	48
6.3.1	Matice AME	48
6.3.2	Matice R1	50
6.3.3	Matice R2	52
6.3.4	Řešení mazání rotující matice firmou HIWIN	52
6.4	Rexroth BOSCH group.....	53
6.4.1	Matice FAR-B-S.....	53
6.4.2	Řešení mazání rotující matice firmou Rexroth BOSCH group	55
6.5	Steinmeyer	55

6.5.1	Matice řady 1414, 2424 a 3424	56
6.5.2	Řešení mazání rotující matice firmou Steinmeyer	57
6.6	SKF	59
6.6.1	Matice SLT/ TLT	59
6.6.2	Řešení mazání rotující matice firmou SKF	61
7	ZHODNOCENÍ SITUACE NA TRHU.....	63
7.1	Druhy řešení mazání rotujících matic.....	63
7.2	Používaná maziva	63
7.3	Chlazení rotujících matic.....	64
8	NAVRHOVANÉ VARIANTY KONSTRUKCÍ.....	67
8.1	Požadavky.....	67
8.1.1	Co ovlivňuje konstrukční návrh dle zadání DP	67
8.2	Varianty	72
8.2.1	Varianta 1	72
8.2.2	Varianta 2	74
8.2.3	Varianta 3	75
8.3	Vícekriteriální metody výběru.....	77
8.3.1	Kritéria	77
8.3.2	Metody stanovení vah	78
8.3.3	Metody určení nejlepší varianty	78
8.4	Výběr nejvhodnější varianty.....	80
9	KONSTRUKČNÍ A VÝPOČTOVÉ ZPRACOVÁNÍ VARIANTY 2	83
9.1	Konstrukce a výpočty přípojné jednotky	83
9.1.1	Vnitřní kroužek	84
9.1.2	Vnější kroužek.....	88
9.1.3	Distanční kroužek.....	88
9.1.4	Ucpávka.....	92
9.1.5	Ložisko	93
9.1.6	Hřídelové těsnění.....	95
9.2	Elastohydrodynamické mazání.....	96
9.3	Přenos tepla	98
9.4	Bezpečnost a rizika.....	102
10	VLASTNÍ NÁVRH CHLAZENÉ ROTUJÍCÍ MATICE.....	105
11	KOMENTÁŘ K VÝKRESOVÉ DOKUMENTACI.....	109
12	ZÁVĚR.....	113
13	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	115
14	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	121
14.1	Seznam zkratk.....	121
14.2	Seznam symbolů.....	121
14.3	Seznam obrázků.....	123
14.4	Seznam tabulek.....	125
15	SEZNAM PŘÍLOH.....	127

1 ÚVOD

V soudobé strojírenské praxi je po celém světě využíváno spousta výrobních strojů a manipulátorů, jejichž polohování je velice často zprostředkováno kuličkovým šroubem s maticí. Mechanismus kuličkového šroubu s maticí slouží k převodu otáčivého pohybu na translační, nebo naopak. V případě rotující matice je hnací moment přiveden na matici, která se otáčí a posouvá po kuličkovém šroubu. Z těchto důvodů je obtížnější přivádět do pracovního prostoru kuličkového šroubu mazivo, a je také velice obtížné matici chladit. Kvalitně zpracované mazání a chlazení rotující matice zaručí správný chod mechanismu a umožní jeho aplikaci ve velice přesných strojích.

Téma diplomové práce vzniklo ve spolupráci s prof. Ing. Jiřím Markem, Dr. a společností KSK Precise Motion, a.s. za účelem návrhu inovativního řešení mazání a chlazení rotující matice, jenž je nyní na trhu řešeno jednoduše a neuspokojivě. Výsledná konstrukce musí korespondovat s již zavedenou nabídkou rotujících matic společnosti, kvalitně pohybovou soustavu mazat a zároveň odvádět teplo generované při práci.

Navrhovaná konstrukční řešení vychází z rozsáhlé rešerše, jenž se nachází v prvních kapitolách této diplomové práce. Ze začátku se Vážený čtenář dozvídá teorii o kuličkovém šroubu a maticí, jenž dá základ pro definici a systémový rozbor kuličkových šroubů s rotující maticí. Celá rešeršní část vrcholí přehledem nabídky rotujících matic a jejich systémů mazání od jednotlivých společností, spolu s autorovým pohledem na aktuální situaci na trhu. V druhé polovině práce jsou předneseny konstrukční návrhy, z nichž je vybrána nejvhodnější varianta pomocí vícekritériálních metod výběru. Vítězný návrh je zpracován v samostatné kapitole s detailním popisem z konstrukčního i výpočtového hlediska. V samém závěru práce autor představuje nový koncept rotující matice s integrovaným mazáním a chlazením.

2 MOTIVACE

Již během předběžného zkoumání problematiky konstrukce mazacího zařízení pro rotující kuličkové šrouby bylo zřejmé několik výhod na poli trhu, které tímto řešením může společnost KSK Precise Motion (dále v textu také pod zkratkou KSK PM) získat. Z obecného hlediska společnost „pouze“ rozšíří své portfolio, což může být aspektem k povšimnutí u nových i stávajících zákazníků. Při hlubším prozkoumání tématu, však vyjde najevo, že nový návrh přinese daleko více.

Nyní společnost KSK PM nabízí mazání rotujících matic způsobem stálé tukové náplně, jenž se doplňuje ručně po stanovených intervalech. Autor shledává ruční domazávání za účinné, ale pro CNC stroje vyšších generací, a obecně stroje s vyšší automatizací, nedostačující. Společnost již několikrát zkonstruovala formou zakázkové výroby zákazníkovi mazání v rotující matici i pomocí centrálního mazacího systému stroje. Nové konstrukční řešení mazání rotujících matic nabídně ucelený návrh pro celou nabídku matic tohoto druhu od společnosti KSK PM. Autor tedy ve své práci nabídně unifikovaný konstrukční návrh mazání rotujících matic olejem, který následně může být zpracován do katalogů.

Autor by rád podotkl, že se nyní na trhu nevyskytuje nabídka chlazení rotujících matic. Právě v tom tkví výzva konstrukčního návrhu. Finální podoba řešení bude obsahovat i chlazení, což může být velkým krokem vpřed na trhu kuličkových šroubů s rotující maticí. Tento typ matic by mohl být použit v úzce specializované oblasti, kde se prolíná potřeba přesného chodu a užití rotujících matic, protože chlazená matice nebude tolik podléhat tepelným dilatacím materiálu, jako matice nechlazená.

Neméně důležitým prvkem motivace je vlastní prohloubení znalostí ve specializovaném tématu z prostředí strojírenství, protože člověk, který se vyzná obecně ve všem nakonec zjistí, že důkladně nerozumí ničemu.

3 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI KSK PRECISE MOTION

Původ společnosti se traduje již od poloviny 20. století, kdy byla zvýšená poptávka na přesnější posuvové šrouby s vyšší účinností. To vedlo až k postavení nového výrobního závodu v Kuřimi. Postupem času se výrobní posuvových šroubů obměňovala a vyvíjela až do dnešní podoby, kdy je známa pod jménem KSK Precise Motion, a.s. (logo společnosti je na Obr. 1)), jako kvalitní a spolehlivý dodavatel kuličkových šroubů [3].

Jedná se tedy o českou společnost s dlouholetou tradicí v oblasti posuvových šroubů. Má vysoký kredit v regionu jako výrobce i zaměstnavatel. Zakládá si na svém osobním růstu a vytvoření dobrého pracovního prostředí pro své zaměstnance. Mezi další hodnoty lze zařadit jejich společenskou zodpovědnost, která vyjadřuje soustředění společnosti i na okolí, nejen na sebe a trh. KSK PM je zapojena do programů ve spolupráci se školami, zvyšování odbornosti zaměstnanců, ale také se angažuje jako dárcce v nejrůznějších sbírkách, které pomáhají na potřebných místech.

Velkou část výroby a nabídky tvoří kuličkové šrouby nejrůznějších provedení. Dalším sortimentem, který společnost nabízí jsou trapézové šrouby, válcové vodící tyče pro lineární vedení a speciální provedení kuličkových šroubů jako např. teleskopické kuličkové šrouby, bezprofilové kuličkové šrouby a další. KSK PM se nebojí jít i za hranice svého katalogu a dokáže vyhovět i zvláštním požadavkům od zákazníka. Je to umožněno díky vysoké odbornosti zaměstnanců a stále se vyvíjejícímu technologickému zázemí společnosti. Koncem roku 2013 byl technologický park obohacen o robotizované pracoviště s laserem, který dokáže materiál zakalit, navařit, nebo i svařit.

Společnost KSK PM se může chlubit i několikaletými oceněními, jakožto např. ocenění za spolupráci se zákazníky, za kvalitního a spolehlivého partnera v oboru strojírenství a v neposlední řadě několika oceněními z Mezinárodního strojírenského veletrhu Brno.

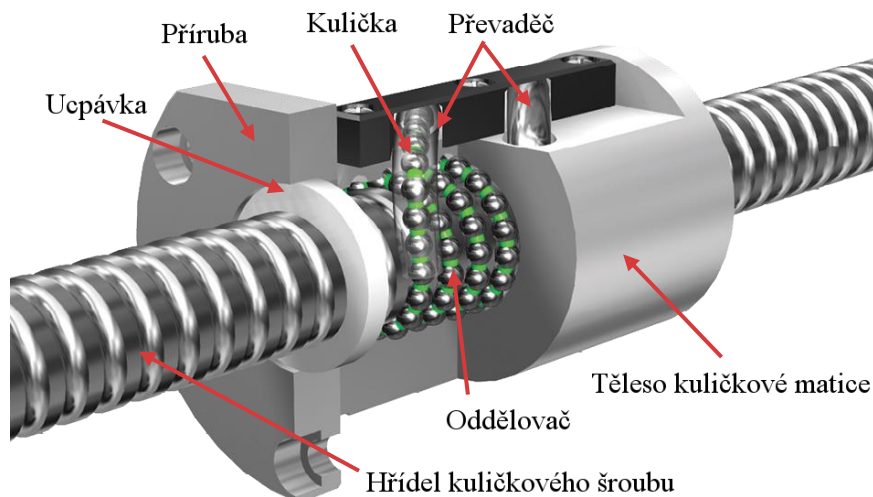


Obr. 1) Logo společnosti KSK Precise Motion, a.s. [51]

4 TEORIE KULIČKOVÝCH ŠROUBŮ

4.1 Definice a princip

Kuličkovým šroubem se nazývá konstrukční prvek strojů, který sestává z hřídele kuličkové šroubu, matice kuličkového šroubu a kuliček spolu s převaděči kuliček (viz Obr. 2)). V odborných člancích, skriptech a jiných odborných publikacích může být také popsán zkratkou KŠM (kuličkový šroub s maticí). I v této diplomové práci bude tato zkratka dále používána.



Obr. 2) Řez typickou kuličkovou maticí [THK] [4]

Principem KŠM je převádět rotační pohyb od motoru na lineární pohyb stolu nebo zařízení. Sestava KŠM se tudíž řadí do oblasti lineárních pohonů. Hřídel kuličkového šroubu působí jako pohybový šroub. Na rozdíl od pohybového šroubu s trapézovým závitem (přenos sil smykovým třením) zde nedochází k přímému kontaktu mezi šroubem a maticí. Mezi kuličkovým šroubem a kuličkovou maticí se odvalují kuličky, které přenášejí síly a pohyb. Díky odvalování kuliček v KŠM vzniká mezi maticí a hřídeli kontakt valivým třením, který výraznou měrou zvyšuje efektivitu pohybové soustavy. Účinnost KŠM se pohybuje kolem 90 % i více [1], v závislosti na přesnosti výroby a vlastnosti šroubu (stoupání, míra předpětí, velikost pasivních odporů atd.). Můžeme se setkat, i když velice ojediněle, i s případem, kdy KŠM převádí lineární pohyb na rotační.

Vlastnosti kuličkových šroubů charakterizují následující parametry [2]:

- Jmenovitý průměr závitu.
- Stoupání závitu.
- Třída přesnosti závitu
- Únosnost, tuhost a trvanlivost převodu.
- Posuvová rychlost.
- Použitý typ převodu kuliček v maticích.
- Otáčkové číslo.

Otáčkové číslo

Otáčkové číslo neboli DN faktor [Dn value] je hodnota, která je ovlivněna tím, jak plynule a rovnoměrně cirkulují kuličky v matici. Vyjadřuje rychlost oběhu kuliček. Tuto hodnotu ovlivňuje typ použitého převaděče, mazání, zda jsou použity oddělovače kuliček, a také podle toho, jak dokonale dokáže výrobce navrhnout celkovou cirkulaci kuliček. Otáčkové číslo je poté použito jako limitující hodnota pro maximální otáčky kuličkového šroubu vzhledem k použitému průměru (viz vztah (1)).

$$n_{max} = \frac{\text{otáčkové číslo}}{d_0} \quad (1)$$

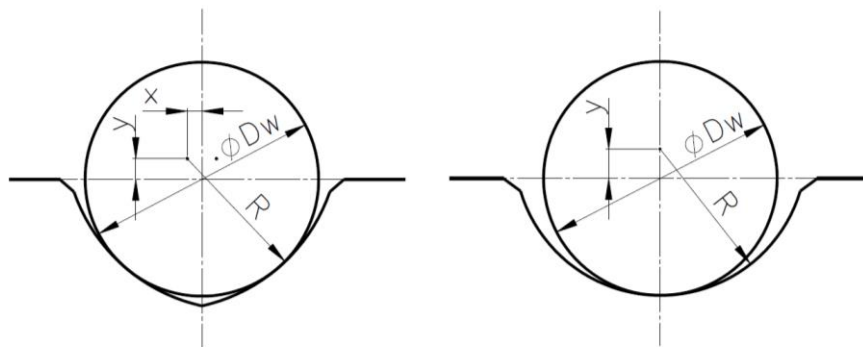
Je mnoho rozdílných využití kuličkových šroubů. Nejčastější užití je však u obráběcích strojů pro polohování v jednotlivých osách. Obráběcí stroje vyrábí vysoce přesné součásti a z toho plyne, že požadavky na přesnost výroby KŠM, jakožto polohovací jednotky těchto strojů, jsou značně vysoké. Sestava kuličkového šroubu musí být vyrobena v požadované třídě přesnosti, bezvulová a dostatečně tuhá. Bezvulovosti se dosáhne předepnutím matice (možnosti předepínání matic jsou detailněji popsány v kapitole 4.7). Zvyšování tuhosti se dosáhne typem uložení hřídele a taktéž zvyšováním síly předpětí mezi maticí a hřídelí.

4.2 Geometrie závitu

Závít kuličkového šroubu se v soudobé praxi vyrábí ve dvou profilových variantách. Jedná se o variantu **gotického profilu** a **kruhového profilu**, kde každý má své specifické vlastnosti a oblast využití.

4.2.1 Gotický profil

Gotický profil je tvořen dvěma totožnými rádiusy, které mají poloměr nepatrně větší, než je poloměr kuličky. Střed y těchto rádiusů jsou na stejném průměru od osy hřídele (matice), ale posunuty axiálně o stejnou hodnotu. Lepší pochopení konstrukce profilu nabízí Obr. 3). Gotický profil je složitější na výrobu, ale za to poskytuje mnoho výhod. Profil nabízí lepší úhel dosedu, přesnější chod, možnost vymezení vůle a možnost předepnutí. Kuličkový šroub s maticí dosahuje nejlepších účinností při úhlu dosedu kuliček 45° [1].



Obr. 3) Gotický profil (vlevo) a kruhový profil (vpravo) závitu

4.2.2 Kruhový profil

Kruhový profil závitu je jednodušší a levnější na výrobu. Profil je kružnice s větším poloměrem, než je průměr kuličky. KŠM s tímto profilem dosahují nižší účinnosti a jsou použity pro méně přesné aplikace. Nižší účinnost plyne z většího zatížení kuličky, které je tvořeno menším úhlem dosedu kuličky [1]. Náčrt kruhového profilu naleznete na Obr. 3).

4.3 Výroba kuličkových šroubů

Výroba kuličkových a pohybových šroubů lze obecně zprostředkovat pomocí technologií broušení, válcování anebo okružního frézování. Každá z těchto technologií poskytuje velkou škálu rozměrů a typů šroubovic.

4.3.1 Válcování

Výroba začíná s tyčovým polotovarem, který je pomocí rotujících válců (nástrojů) vtahován a zároveň tvářen. Výsledkem je kuličkový šroub s řízeně nepřesným stoupáním závitu, který je určen pro další operaci, kalení. Kalením se tato řízená nepřesnost (korekce) vykompenzuje. Poslední proces výroby je leštění, které výrazně zlepšuje kvalitu povrchu závitu [5] [8].

Válcování kuličkových šroubů je nejlevnější variantou výroby. Proces lze jednoduše automatizovat za účelem vysoké produktivity, snížení nákladů, a tudíž i snížení ceny výsledného produktu. Během posledních desetiletí se proces zpřesnil a nemusí být nutnou podmínkou, že válcovaný kuličkový šroub je nepřesný [5] [7].

Na druhou stranu lze válcováním dosáhnout omezených přesností, které se pohybují nejnižší do třídy T5 podle normy DIN ISO 3408, a také má vliv na geometrickou přesnost vůči ose hřídele. Dráha válcovaného závitu má zhoršené povrchové vlastnosti, které mohou spolu s nízkou přesností geometrie zapříčinit větší hlučnost chodu, snížení životnosti a zhoršení účinnosti KŠM [5].

Typickou charakteristikou válcovaného kuličkového šroubu je drážka na nefunkční části hřbetu závitu, která vzniká vytlačení materiálu během tváření. Proces tváření neodebírá třísku, a tudíž nejsou vlákna materiálu přerušena, ale nahuštěna a vytvarována dle profilu závitu. Tento efekt zvětšuje únosnost šroubu [5] [6] [8].

4.3.2 Okružování

Okružování závitů je řazeno mezi frézovací operace. Nástrojem je kotouč, do jehož vnitřního průměru jsou upnuty nože. Nejčastěji jsou upnuty čtyři, nebo šest nožů. Nástroj je nasazen na již zakalený polotovar a nakloněn v úhlu stoupání. Následně je roztočen na vysoké otáčky a ponořen do řezu. Obrobek se otáčí nízkými otáčkami. Za každou otáčku obrobku se nástroj posune přesně o stoupání. Společnými posuvnými a otáčivými pohyby vzniká závit. Během řezného procesu je osa obrobku mimoběžná s osou nástroje [5] [6].

Používané nože mají břity vyrobené z kubického nitridu boru (KNB), a to nám umožňuje obrábět na hotovo a vysokými rychlostmi. Okružováním závitů lze dosáhnout přesnosti až IT5. Využívá se proto pro výrobu šroubů na hotovo v tolerancích IT5, anebo pro výrobu polotovarů pro broušení. Metoda je využívána pro sériovou i kusovou výrobu [5] [6].

4.3.3 Broušení

Broušení závitu probíhá na závitových bruskách, kde orientace polotovaru je horizontální. Tyto brusky mají možnost vyklonění vřeteníku, což nám umožňuje výrobu závitů o různém stoupáním. Nástrojem je brusný kotouč, který může být jedno profilový, nebo více profilový. Polotovarem pro nízké profily závitu je kalená plná tyč. Pro závit s hlubším profilem se používá polotovar s předem osoustruženým, nebo okruženým závitem, který je s přídavkem pro broušení a zakalen. V obou případech je výsledkem hotový závit, který nepotřebuje další úpravy [6].

Metoda broušení závitu nám umožňuje vyrábět vysoce přesné šroubovice s hladkým povrchem. Dosahuje se tolerancí IT3 až IT1. Přesnost výroby závisí na přesnosti stroje a kvalitě nástroje a jeho přesném tvaru. Bohužel je metoda ze všech nabízených variant nejdražší [5] [8].

4.4 Převaděče kuliček

Kuličky se odvalují po šroubovici, a tím dochází k posouvání jednotlivých kuliček i v axiálním směru, proto se musejí převést zpět proti směru pohybu, aby docházelo k jejich cirkulaci. Může se tak dít několika způsoby. Níže uvedené jsou běžně dostupné převaděče na trhu, ale existuje mnoho jejich obměn a patentovaných variant.

4.4.1 Externí převod

Kuličky jsou navedeny do externího kanálku, který je nejčastěji tvořen trubičkou, ale může být také zhotoven v matici. Trubička se k matici přišroubuje na vnější průměr tělesa matice. Tento kanálek převádí kuličky o více závitů (viz Obr. 4)). Je to často používaný, levný a jednoduchý způsob převodu kuliček [9].



Obr. 4) Řez maticí a externím převodem kuliček [Rockford ball screw] [11]

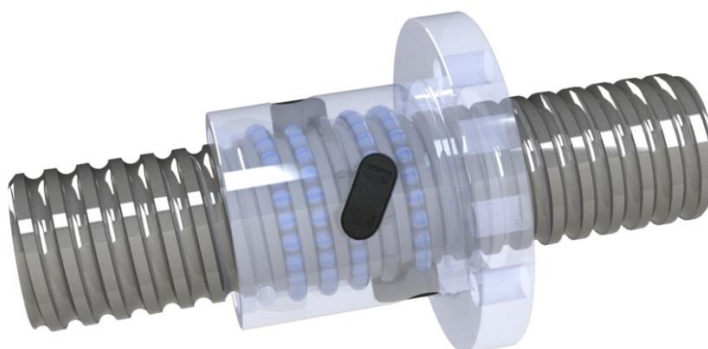
4.4.2 Interní lůžkový převod

Interní převod lůžkem umožňuje kuličkám posunutí vždy jen o jeden závit. Vložené lůžko vyvádí kuličku z dráhy závitu, převede ji po nefunkční části hřbetu závitu a navede zpět o jedno stoupání. Osa dráhy v segmentu je komplexní 3D křivka, která nám umožňuje co nejhladší přechod kuliček. Převáděcí lůžko lze vidět na Obr. 5) [9] [10].



Obr. 5) Převáděcí lůžko [KSK PM]

Matice s těmito převáděcími lůžky dosahují nejmenších průměrů tělesa matice, a to díky převodu kuličky bezprostředně nad průměrem hřídele kuličkového šroubu, i z tohoto důvodu jsou lůžka velmi často využívány. Chod KŠM je hlučnější a méně efektivní než u ostatních variant. Aplikace převáděcích lůžek je na Obr. 6) [9].



Obr. 6) Vizualizace způsobu užití lůžkových převaděčů [KSK PM]

Interní převod může být nahrazen převodem s vloženým perem (hřebenem). V peru je zhotoveno několik převáděcích drah za sebou, které umožňují převod kuliček právě o jeden závit. Naopak lůžka mohou být mezi sebou úhlově posunuty téměř libovolně [9] [10].

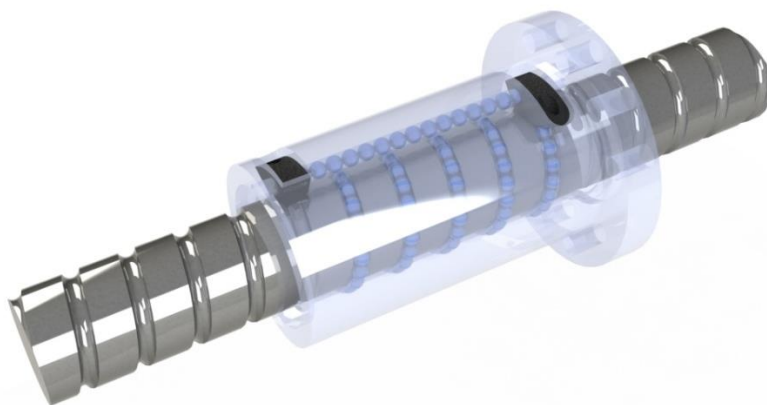
4.4.3 Převod radiálními segmenty

Radiální segmenty mohou být použity pro převod kuliček o více pracovních závitů anebo o všechny pracovní závity v matici. Kuličky jsou na konci své dráhy převedeny radiálním segmentem do kanálku, který je vyroben v tělese matice a rovnoběžně s osou matice. Kanálek vede kuličky k dalšímu radiálnímu segmentu, který je navede zpět do jejich pracovní dráhy. Radiální segment lze vidět na Obr. 7).



Obr. 7) Radiální segment [KSK PM]

Jak již název napovídá, radiální segment je vkládán do matice radiálně z jejího vnějšího průměru. Segmentem vede dráha, která se tangenciálně napojuje na dráhu šroubovice závitů a pokračuje do boční části segmentu, kde se plynule napojuje na kanálek (viz Obr. 8)). Průměr dráhy je o něco větší než průměr kuličky, a stejný jako průměr kanálku v matici. Segment je opatřen deflektorem, který zlepšuje náběh a výběh kuliček ze segmentu. Převod kuliček je plynulý a méně hlučný. Radiální segmenty se používají pro aplikace v rychloběžných KŠM [10].



Obr. 8) Vizualizace způsobu užití radiálních segmentů [KSK PM]

4.4.4 Převod axiálními segmenty

V tomto případě procházejí kuličky všemi pracovními závity najednou a na konci své dráhy jsou převedeny axiálním segmentem (Obr. 9)) do kanálku, který je vyroben v tělese matice a rovnoběžně s osou matice. Kanálek vede kuličky až na začátek pracovního závitu, kde druhý axiální segment navede kuličky zpět do jejich dráhy (viz Obr. 10)).

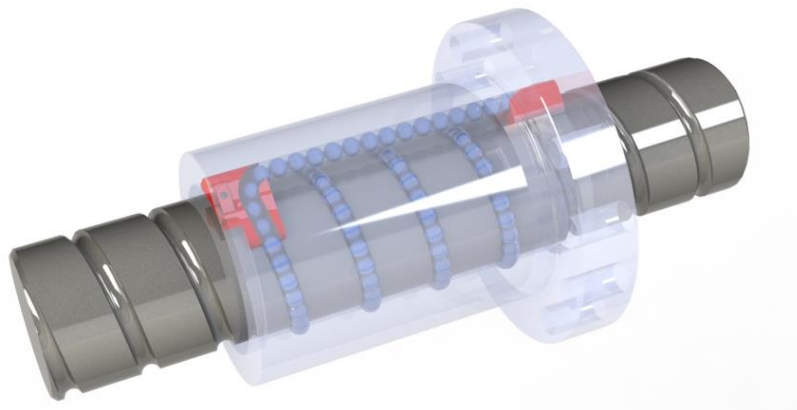


Obr. 9) Axiální segment [KSK PM]

Jak již název napovídá, axiální segment je vkládán do matice axiálně, rovnoběžně s osou matice. Princip převodu kuliček je totožný jako u provedení s radiálními segmenty. Konstrukčně se však od sebe liší tím, že axiální segment má dráhu převodu kuličky otevřenou, což lze vidět na Obr. 9). Je tomu tak, protože dráhu doplňuje horní část kapsy pro segment v matici (viz Obr. 10)).

Stejně jako u použití radiálních segmentů, je chod velice plynulý a je možné aplikovat axiální segmenty pro rychloběžné kuličkové šrouby [9] [10].

Dále může být převod uskutečněn jako příložné víčko, které se upevní na čela matice.

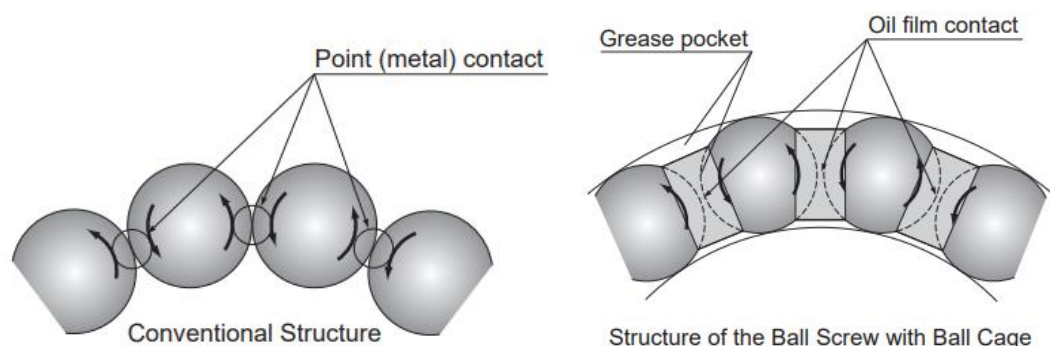


Obr. 10) Vizualizace způsobu užití axiálních segmentů [KSK PM]

4.5 Oddělovače kuliček

Při cirkulaci kuliček se vždy dbá na jejich, co nejplynulejší odvalování a převádění v soustavě KŠM. Výrazně k tomu přispívá aplikace oddělovačů kuliček (taktéž možno nalézt pod názvy: spacer, vložka, kuličková klec). Jedná se o princip, kde se mezi každou kuličku vloží plastový oddělovač tvaru kroužku, který od sebe vzdálí kuličky o malou vzdálenost (viz Obr. 11)). Zamezí se tím třecímu styku při odvalování kuliček kov na kov a jejich vzájemnému srážení. Oddělovač s sebou nese ještě další kladné vlastnosti jako [12]:

- Snížení hluku recirkulace kuliček.
- Prodloužení pracovního času před nutnou údržbou.
- Plynulejší chod.
- Rovnoměrný pohybový moment.
- Konstantní vzdálenost mezi kuličkami.
- Využití pro vysoké zátěže a pro vysoké rychlosti.



Obr. 11) Porovnání funkčnosti bez užití a s užitím oddělovačů [12]

Point (metal) contact – bodový (kovový) dotyk

Grease pocket – kapsa s mazivem

Oil film contact – kontakt olejovým filmem

Conventional Structure – konvenční způsob

Structure of the Ball Screw with Ball Cage – Konstrukce kuličkového šroubu s kuličkovou klecí

4.6 Mazání

Pro co nejefektivnější použití kuličkového šroubu s maticí je nutno tuto pohybovou soustavu mazat. Získá se tím hladší chod, snížení valivého momentu, zvýšení účinnosti soustavy a prodloužení životnosti. Mazání je prováděno do prostoru matice, která musí být utěsněna ucpávkami, nebo mazána ztrátově.

Jako mazivo se používají oleje, tuky, nebo tuky s nízkou viskozitou. Výběr jedné z variant lubrikantu závisí na provozních podmínkách, jako je třeba rychlost otáčení šroubu, nebo matice, provozní teplota, zatížení, prostředí užití KŠM a mnoho dalších. Obecně ale platí, že oleje se používají v případě ztrátového mazání, nebo v aplikacích s nízkým zatížením a vysokými rychlostmi. Tuky se naopak používají v oblastech s vysokým zatížením a nízkými rychlostmi. Poslední varianta, tuky s nízkou viskozitou, se používají tam, kde je potřeba tukového mazání, které je zprostředkováno automaticky [13].

Maziva jsou dost podobná těm, které se využívají v oblasti valivých ložisek. Například firma HIWIN doporučuje [13]:

- Olej: Klüber – Klüberoil GEM 1-150 N.
Mobil – Mobilgear 630.
Fuchs Lubritech – GEARMASTER CLP 320.
- Tuk: HIWIN – G05.
Klüber – Klüberlub GL – 260.
Mobil – Mobilux EP1.
Fuchs Lubritech – Lagermeister BF2.
Lubcon – TURMOGREASE CAK 2502.

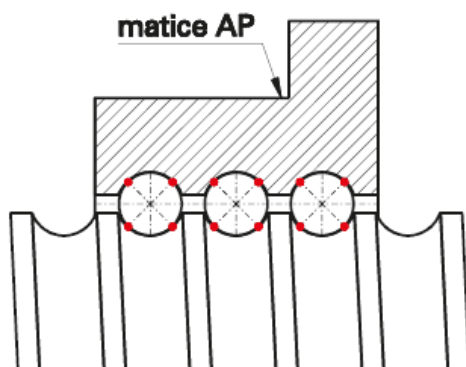
Důležitým faktorem pro správný chod KŠM je dodržování předepsaných intervalů mazání dle pokynů výrobce kuličkových šroubů. Častější mazání, než podle předpisu může způsobit značné problémy, jako je přehřívání, rychlou degradaci maziva, výrazné zkrácení životnosti a klouzání kuličky namísto odvalování. Přílišným mazáním může také dojít k trvalému poškození ucpávek, a to díky zvýšenému tlaku maziva při doplňování většího objemu, než podle návodu [13] [14].

4.7 Předepínání matic

Předepínání matic kuličkových šroubů se dělá za účelem vymezení vůle a zpřesnění chodu kuličkového šroubu s maticí. Předepnutím pohybového spoje dojde ke zvýšení tuhosti KŠM, ale také zároveň k většímu opotřebení kuliček a závitových drah, což je důsledek zvětšení síly na valivé elementy. Předepnutí matic se může dít následujícími způsoby:

Výběrem kuliček

Mezi šroub a matici jsou střídavě vkládány kuličky normálních rozměrů a kuličky o mírně větším průměru, než je velikost drážky závitu. Tento rozdíl u větších kuliček vymezí vůli a vytvoří napětí mezi šroubem a maticí. Kuličky normálních rozměrů fungují jako vymezení mezi kuličkami s přesahem, které nesou zátěž KŠM.

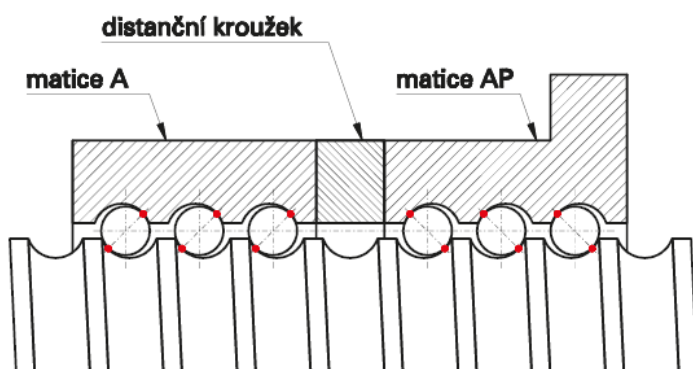


Obr. 12) Předepnutí kuličkového šroubu výběrem kuliček [17]

Provedení předpětí výběrem kuliček vždy způsobí čtyřbodový kontakt valivého elementu mezi šroubem a maticí (viz Obr. 12)). Lze jej použít pouze pro jednu matici a je to jediný možný způsob předepnutí pro válcované kuličkové šrouby. Nejčastější využití nachází pro krátké matice s menší tuhostí [1] [15] [16].

Distančním kroužkem

Při předepínání KŠM distančním kroužkem je nutnost použití dvou matic. Mezi tyto matice, s přesně vybroušeným závitem, se vloží distanční kroužek, který od sebe vzdálí závity jednotlivých matic o určitý rozdíl ve stoupání. Tento rozdíl způsobí napětí mezi maticemi, dojde k vymezení vůle a kuličky jsou vždy natlačeny na jednu stranu závitové drážky (viz Obr. 13)). Z toho plyne, že mezi kuličkou a šroubem s maticí vzniká dvoubodový kontakt. Nejčastější využití nachází pro delší matice s výbornou tuhostí [1] [15] [16].



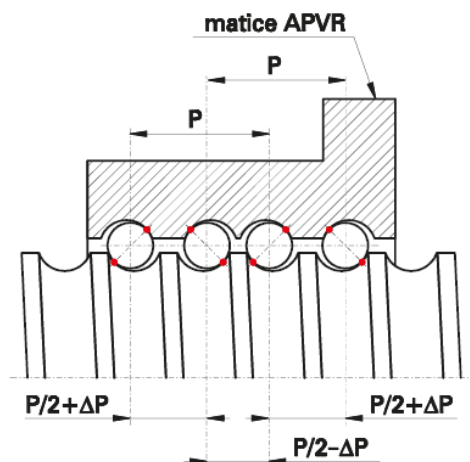
Obr. 13) Předepnutí kuličkového šroubu distančním kroužkem [17]

Pružným členem

Vytvoření předpětí vzniká obdobně jako u řešení s distančním kroužkem, avšak s tím rozdílem, že je distanční kroužek nahrazen pružným členem, který neustále vyvíjí sílu mezi maticemi. Síla matice mezi sebou vzdaluje a tím vymezuje vůli a vytváří předpětí. Pohybový spoj dobře tlumí rázy, ale je méně tuhý než ostatní řešení. Nejčastější využití nachází pro delší matice s malou tuhostí [1] [15] [16].

Posunutím chodů

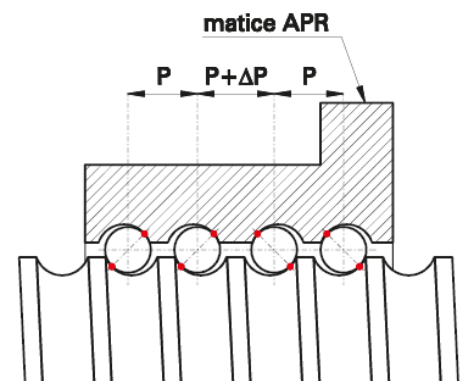
Vytvoření předpětí posunutím chodů lze aplikovat pouze na matice s více chody. Předpětí je vytvořeno posunutím jednotlivých chodů mezi sebou o přesnou hodnotu difference (viz Obr. 14)). Velikost difference potom úměrně zvětšuje sílu předpětí vzniklou mezi jednotlivými chody. Opět vzniká na kuličce dvoubodový kontakt mezi maticí a šroubem. Každý z chodů má svůj vlastní oběh kuliček [1] [15] [16].



Obr. 14) Předepnutí kuličkového šroubu posunutím chodů [17]

Diferencí ve stoupání

Princip vytvoření předpětí diferencí ve stoupání funguje obdobně jako metoda s distančním kroužkem. S tím rozdílem, že rozdíl mezi stoupání není tvořen distančním kroužkem mezi dvěma maticemi, ale rozdílným nabroušením dvou polovin závitu jedné matice (viz Obr. 15)). Diference mezi stoupáním se objevuje uprostřed matice. Velikost difference potom úměrně zvětšuje sílu předpětí vzniklou mezi jednotlivými polovinami závitu. Opět vzniká na kuličce dvoubodový kontakt mezi maticí a šroubem. Nejčastější využití nachází pro střední délky matic s dobrou tuhostí [1] [15] [16].



Obr. 15) Předepnutí kuličkového šroubu diferencí ve stoupání [17]

4.8 Pohybové možnosti

Kuličkový šroub je vysoce mechanicky účinný prostředek k převádění pohybu, a z toho důvodu nachází mnohé užití v nejrůznějších oblastech. Každé z použití může vyžadovat různé požadavky na transformaci pohybu. Svou všestrannost dokazuje kuličkový šroub možností převádět pohyb ve čtyřech konfiguracích [18]:

A) Šroub se točí a neposouvá; matka se netočí a posouvá

Převod rotačního pohybu na pohyb translační.

Hnacím členem v této konfiguraci je šroub, který je otočně uložen k rámu stroje. Šroub přenáší moment z motoru na matici, která se posouvá. Matice je pevně uložena ve stole stroje a posouvá jím (viz Obr. 16 a)).

B) Šroub se netočí a neposouvá; matka se točí a posouvá

Převod rotačního pohybu na pohyb translační.

Hnacím členem v této konfiguraci je matice, která je otočně uložena k rámu stroje. Matice je přes ozubený řemen, nebo ozubený převod poháněna motorem a svým otáčením posouvá šroub, který je pevně uložen ve stole stroje (viz Obr. 16 b)). V tomto případě lze použít ještě jedna konfigurace, kdy je matice s motorem uložena ve stole stroje a šroub pevně k základu stroje. Detailnější popis těchto dvou druhů uspořádání je v kapitole 5.2.

C) Šroub se netočí a posouvá; matka se točí a neposouvá

Převod translačního pohybu na pohyb rotační.

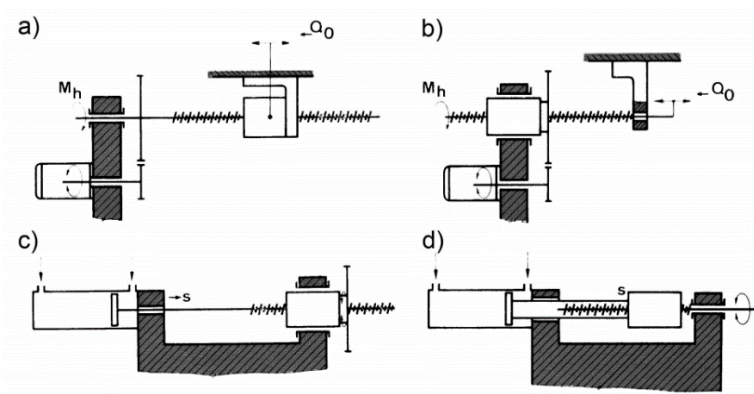
Hnacím členem v této konfiguraci je šroub, který je poháněn dvojčinným hydromotorem. Šroub svým axiálním posuvem roztáčí matici (viz Obr. 16 c)).

D) Šroub se točí a neposouvá; matka se netočí a posouvá

Převod translačního pohybu na pohyb rotační.

Stejná konfigurace jako v bodě A), s tím rozdílem, že zde je hnacím členem matice (viz Obr. 16 d)). Funkčně je tento princip totožný s principem prvních ručních vrtaček, svidříků.

Nejčastěji využívané konfigurace ve strojírenském užití jsou konfigurace A) a B). Diplomová práce se bude blíže věnovat uspořádání B) s rotující maticí.

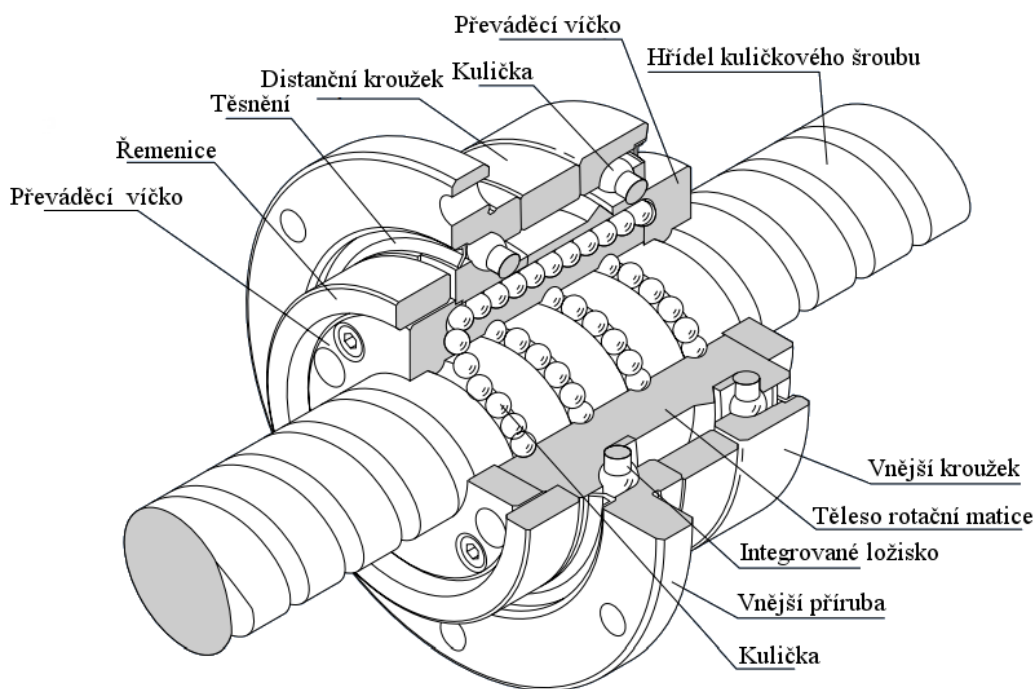


Obr. 16) Pohybové možnosti kuličkového šroubu [18]

5 KULIČKOVÝ ŠROUB S ROTUJÍCÍ MATICÍ

5.1 Definice a konstrukce rotující matice

Kuličkový šroub s rotující (poháněnou) maticí je konstrukční uzel, který umožňuje způsob pohybu pomocí rotace matice. Oproti klasickému provedení je rotující matice osazena ložisky a pouzdem. Taková matice je připravena na přímou montáž do tělesa stolu, nebo supportu stroje. Montáž je zajištěna přesným tolerovaným vnějším průměrem pouzdra matice a otvory pro šrouby v přírubě pouzdra matice. Jedno z možných provedení rotující matice je vyobrazeno na Obr. 17) [19].



Obr. 17) Řez rotující maticí [THK] [20]

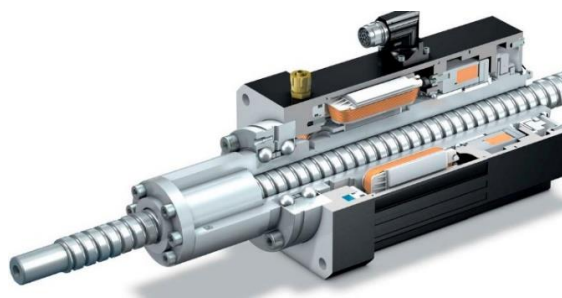
Z principu práce KŠM je zřejmé, že při uložení matice s možností rotace je nutno ložisky zachytávat, jak radiální, tak i axiální síly vzniklé při transformaci pohybu. V běžné praxi výrobci používají k uložení tohoto typu matice, dvojici radiálně-axiálních ložisek seřazených do „O“. Volba valivých elementů a úhlu dotyku elementů v ložisku je rozdílná dle typu matice a výrobce. Není však vyloučeno, že uložení může být provedeno i jiným způsobem. Každé ložiskové uložení rotující matice musí být předepnuto minimálně stejně velkou silou, jako je předepnuta matice. Nedodržení této podmínky se stávají ložiska nejslabším členem a mohou dokonce do pohybové soustavy vnést vřle [19].

Objevují se dva způsoby osazení rotující matice ložisky. Matice může být osazena vloženými ložisky (viz Obr. 24) na straně 38), která jsou samostatnou součástí sestavy, nebo může být samotná matice vyrobena tak, že slouží jako vnitřní kroužek ložiska (viz Obr. 25) na straně 39). Aneb rotující matice s vloženými ložisky a rotující matice s integrovanými ložisky [19] [20].

Jeden druh pohonu matice je přes synchronní převod ozubenými koly, nebo ozubeným řemenem. Na čele rotující matice jsou předem připraveny otvory, které slouží k upevnění těchto ozubených kol. Jedno z možných řešení sestavení pohonu se synchronním ozubeným řemenem, lze vidět na Obr. 18). Druhý možný pohon rotující matice je pomocí motoru s dutou hřídelí, kdy se motor navleče přímo na pouzdro rotující matice (viz Obr. 19)). Toto řešení je velice kompaktní, avšak motory nejsou vyráběny přímo pro oblast kuličkových šroubů s rotující maticí, a díky tomu se jedná spíše o speciální řešení [21].



Obr. 18) Sestava náhonu rotující matice [SKF] [22]



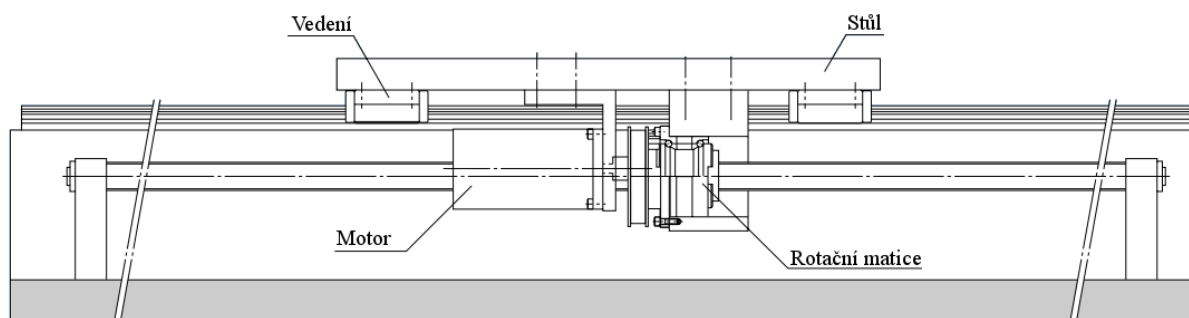
Obr. 19) Řez motorem s dutým rotorem a upevněným KŠM [STÖBER] [23]

5.2 Oblast využití rotující matice

Nejčastěji využívaná konfigurace KŠM ve strojírenství je ta, kdy je poháněn šroub a matice je pevně uložena ve stole stroje, nebo konstrukci zařízení. To ovšem neubírá na důležitosti malé oblasti využití rotující matice. Rotující matice zabírá podstatnou oblast využití, kde aplikace KŠM pohonem šroubu není vyhovující.

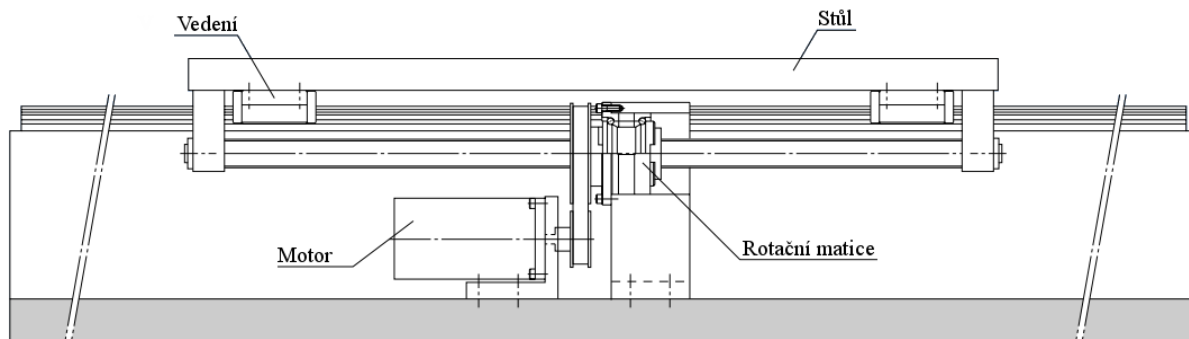
Posuvový konstrukční uzel s rotující maticí může být dále konfigurován do dvou variant:

- A) Pohon roztáčí matici uloženou ve stole stroje, nebo v jeho suportu. Matice se spolu se stolem, nebo supportem posouvá po hřídeli kuličkového šroubu, který je pevně, nepohyblivě uchycen k základu stroje (viz Obr. 20)). Vhodné pro dlouhé stoly [20].



Obr. 20) Použití rotující matice uložené ve stole stroje [20]

B) Pohon roztáčí matici uloženou pevně a otočně k základu stroje. Matice poté posouvá šroubem, který je pevně uložen ke stolu, nebo suportu stroje (viz Obr. 21)). Vhodné pro krátké stoly s dlouhým zdvihem [20].



Obr. 21) Použití rotující matice uložené na základu stroje [20]

Při navrhování mazání a chlazení rotující matice musíme nutně vzít v úvahu, že KŠM může pracovat v libovolném úhlovém sklonu. Nejčastěji se však vyskytuje uložení kuličkového šroubu ve vodorovné poloze a poté v poloze svislé.

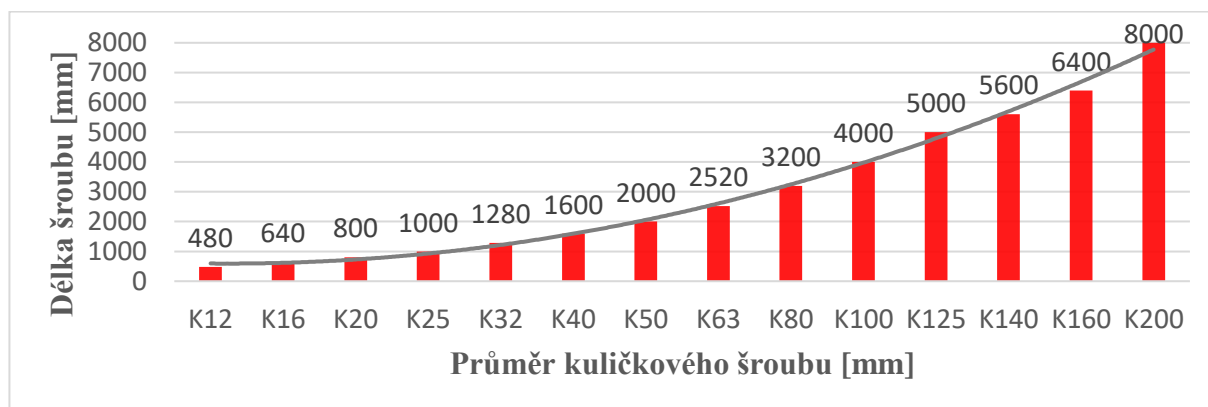
Většina výhodného uplatnění rotující matice je ve spojitosti s dlouhým kuličkovým šroubem. Dlouhý šroub s sebou nese spoustu nedostatků. Jeho velké rozměry znamenají vysokou hmotnost, a také vysokou hodnotu momentu setrvačnosti. Pohon šroubu se tedy stává neekonomickým, protože potřebný výkon motoru k pohánění šroubu se taktéž úměrně zvětšuje. Faktor délky šroubu taktéž ovlivňuje jeho rezonanční frekvence, a s tím spojitě kritické otáčky šroubu. Se zvyšujícím se poměrem délky vůči průměru kuličkového šroubu se rezonanční frekvence snižuje, a s ní také maximální možné otáčky. Použitím rotující matice tato nevýhoda odpadá a otáčkové spektrum využití KŠM se zvětší [19] [20] [24].

V případě použití s dlouhými kuličkovými šrouby je nutné, aby byl šroub uložen nejen na svých koncích, ale také na podporách. Podpory zabrání prohnutí šroubu za klidového stavu a nežádoucím vibracím během rotace matice. Používá se třech druhů podpor a to konkrétně [25]:

- Výsuvné podpory
- Sklopné podpory
- Posuvné podpory

Pro jasné určení, kdy se jedná o dlouhý šroub, slouží vztah číslo (2) [25], který vyjadřuje poměr mezi délkou šroubu a jeho průměrem. Zda-li je poměr větší než 40, jedná se o dlouhý šroub, u kterého je nutno použít podpor. Vztah platí pro pevné uložení kuličkového šroubu z obou stran. Ze vztahu lze poté snadno dopočítat maximální délky kuličkových šroubů běžně vyráběných průměrů, jak lze vidět v grafu na Obr. 22).

$$\frac{l_{KŠM}}{d_0} = 40 \quad (2)$$



Obr. 22) Graf závislosti vyráběné délky na průměru

Další výhody skýtá konfigurace pohonu s rotující maticí v tom, že hřídel je uložen pevně, bez možnosti otáčení a posuvu, ke stroji. Přináší to s sebou výhody jako je snazší vnitřní chlazení šroubu a zvýšenou axiální a torzní tuhost šroubu [24].

Problematickou, kterou trpí rotující matice je mazání. Otáčení poháněné matice značně ztěžuje mazání KŠM. Odstředivé síly při rotaci znesnadňují přísun maziva do prostoru cirkulace kuliček a může se stát, že se mazivo ke kuličkám ani nedostane. Dynamické síly působící na mazivo naopak ulehčují jeho prosakování ze soustavy. Diplomová práce nabídne další možné řešení této problematiky, které by mohlo vylepšit funkčnost KŠM s rotující maticí a také rozšířit nabídku společnosti KSK Precise Motion, a.s. [24].

Souhrn výhod a nevýhod použití rotující matice naleznete v Tab 1)

Tab 1) Výhody a nevýhody užití rotující matice [19] [20] [21] [24]

VÝHODY	NEVÝHODY
Menší výkon motoru	Obtížné chlazení a mazání rotační matice
Ekonomičtější provoz	Velikost použitých ložisek může snižovat maximální možné otáčky
Vyšší otáčky soustavy KŠM	Použití přímého náhonu pouze s dutou hřídelí motoru
Snadné chlazení hřídele kuličkového šroubu	
Tuhé uložení šroubu	
Nevykazuje vibrace	
Nižší hlučnost a zahřívání soustavy	

Aplikace

Z výše uvedených atributů rotující kuličkové matice je zřejmé, že její aplikace bude nejčastěji u strojů a zařízení s dlouhým posuvem. Dále je využívána jako náhrada za pastorek s hřebenem. Obr. 23) dává náhled na jednu z možných aplikací. Jedná se o aplikaci rotující matice do stroje firmy The Daniluk Corporation s dlouhým šroubem a podpěrami.

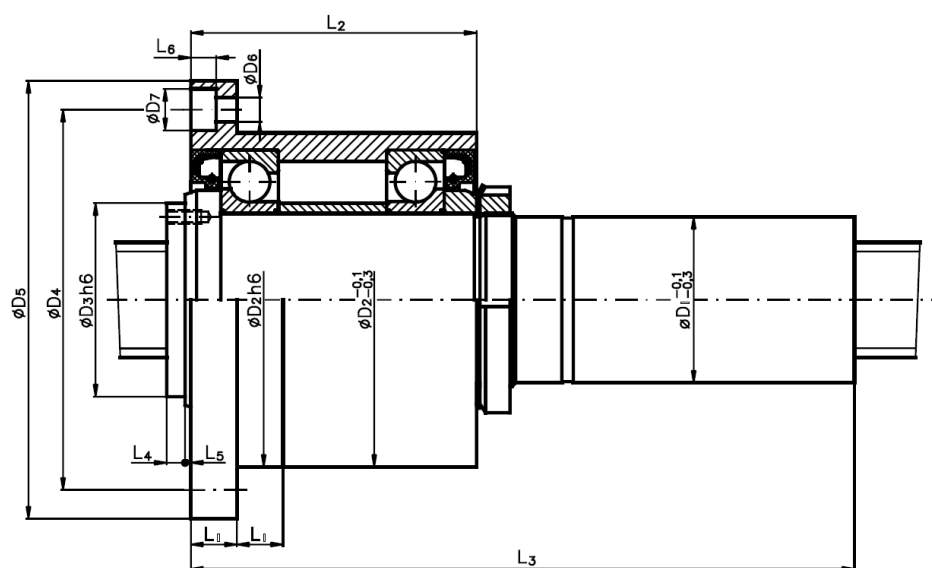


Obr. 23) Aplikace KŠM s rotující maticí [Barnes Industries] [26]

5.3 Rotující kuličkové matice firmy KSK Precise Motion, a.s.

5.3.1 Matice RMV

Společnost KSK PM nabízí ve svém portfoliu dva typy rotujících matic. Jednou z nich je matice s označením RMV, která je konstruována s vloženými ložisky. Způsob řešení matice RMV se nachází na Obr. 24). Společnost KSK PM je schopna matici osadit kuličkovými i kuželíkovými ložisky. Kuželíková ložiska, svým liniovým dotykem valivých elementů, přináší do sestav větší únosnost, ale trpí větším přehříváním, obtížně se předepínají a dosahují menších otáček. Rotující matice RMV s kuželíkovými ložisky se z těchto důvodů užívá ve strojích s pomalým posuvem a potřebou vysoké únosnosti, jako je například vstřikovací lis. Přehled nabízených rozměrů pro rotující matici RMV naleznete v Tab 2) [19].



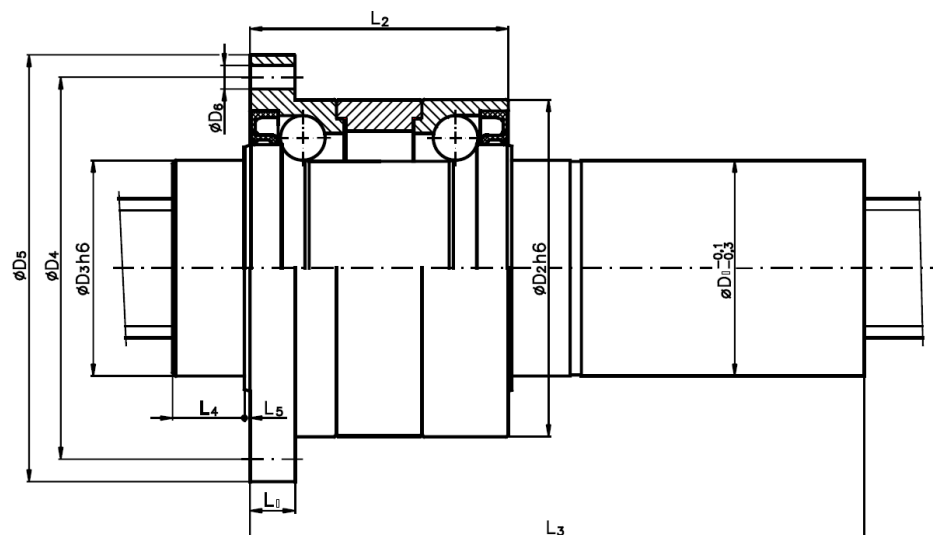
Obr. 24) Rotující matice s vloženými ložisky [KSK PM] [27]

Tab 2) Nabízené rozměrové varianty matice RMV [27]

$d_0 \times P$	i	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	d	L_1	L_2	$L_3 \pm 2$ (RMV)	L_4	L_5	L_6	C_0	C_2
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	-	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN	kN
K 50×20	4	75	145	84	165	190	10,5	18	72	M8	20	124	288	8	1	11	182	68
K 50×25	4	77	155	94	175	200	10,5	18	76	M8	20	113	306	8	1	11	173	58
	5											88	256				216	70
K 63×20	4	92	190	118	210	240	13	20	100	M8	22	148	352	8	2	13	308	110
	5											125	306				385	134
K 80×20	4	127	255	175	280	310	13	20	130	M10	25	148	358	12	3	13	462	159
	5											125	312				578	192

5.3.2 Matice RMI

Druhá matice disponuje integrovanými ložisky na tělesu matice a nachází se pod označením RMI. Způsob řešení matice RMI se nachází na Obr. 25). Rotující matice tohoto typu dosahují menších vnějších průměrů pro uložení do stroje než rotující matice typu RMV, a to díky přímému odvalování valivých elementů po vnějším průměru tělesa matice (integraci ložisek). Přehled nabízených rozměrů pro rotující matici RMI naleznete v Tab 3) .



Obr. 25) Rotující matice s integrovanými ložisky [KSK PM] [28]

Tab 3) Nabízené rozměrové varianty matice RMI [28]

$d_0 \times P$	i	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	d	L_1	L_2	$L_3 \pm 2$ (RMI)	L_4	L_5	C_0	C_1
	-	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	-	mm	mm	mm	mm	mm	kN	kN
K 50×20	5	80	115	80	130	145	8,4	68	M6	14	78	228	22	1,5	208	68
K 50×25	4	80	115	80	130	145	8,4	69	M6	14	78	230	23	1,5	164	55
K 50×32	3	80	115	80	130	145	8,4	69	M6	14	78	220	23	1,5	120	42
	4										78	284			163	55
K 63×20	5	96	150	100	170	190	10,5	88	M8	20	115	275	33	1,5	326	101
K 63×25	4	105	160	105	180	200	10,5	92	M8	20	115	282	38	1,5	326	114
K 63×32	3	105	160	105	180	200	10,5	92	M8	20	115	276	34	1,5	239	87

Technické parametry obou matic [19]:

- Třídy přesnosti IT1 až IT5.
- Otáčkové číslo – $D_0 \cdot n = 100\,000$.
- Účinnost 95–97 % (dle stoupání a maziva).
- Minimální pevnost materiálu hřídelí $R_m = 650\text{ MPa}$.
- Funkční plochy hřídele i matice kaleny na 58-60 HRC.
- Teploty použití -20 až 60 °C.

Varianty provedení obou matic [19]:

- Využití předeprnutí pomocí distančního kroužku mezi dvěma maticemi.
- Využití předeprnutí posunutím chodů matice a zkrácením maticové jednotky o vlečnou matici.
- Aplikace pouze jedné matice s vůlí a zkrácení maticové jednotky o vlečnou matici.

KSK Precise Motion, a.s. nabízí matice RMV a RMI v provedení s trvalou tukovou náplní, která se doplňuje, dle vytižení KŠM, ručně přes mazací otvor. Ovšem, jak je uvedeno v kapitole 3, společnost KSK PM ráda vyjde vstříc zákazníkům, kteří požadují mazání olejem, nebo dokonce centrální mazání. Společnost dbá na svůj vývoj na poli kuličkových šroubů a z toho důvodu také vzniklo zadání této diplomové práce.

6 TECHNICKÁ ŘEŠENÍ FIREM

Veškeré tabulky uvedené v kapitole 6 jsou upraveny a zjednodušeny autorem této práce. Záměr je poskytnout čtenáři přehled aktuálního trhu a zároveň zmenšit množství informací pro čtenáře nepotřebných. Rovněž obrázky jsou upravovány pro lepší přehlednost a odkazy v obrázku jsou přeloženy do českého jazyka.

6.1 THK

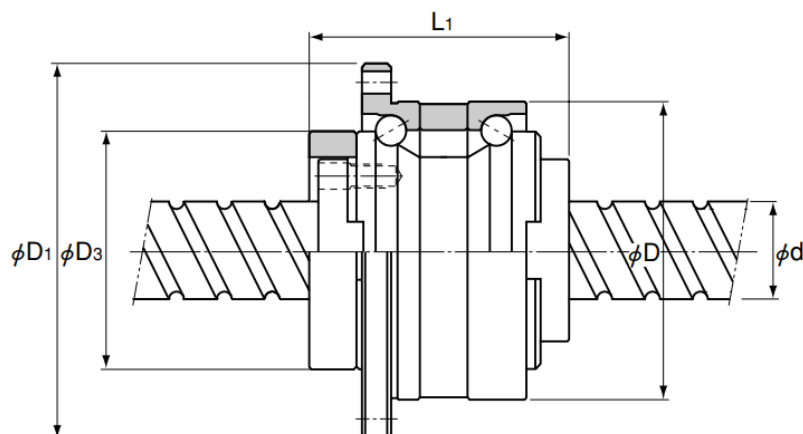
Portfolio firmy THK má ve své nabídce dva typy rotujících matic. Jedná se o matice s označením BLR a DIR.

6.1.1 Matice BLR

Rotující matice od firmy THK typu BLR je osazena integrovanými ložisky s kosoúhlým stykem. Úhel doteku použitých ložisek je 60° a valivým elementem je kulička. Ložiska disponují velkým počtem kuliček a dosahují velké axiální tuhosti. Matice tohoto typu se dále kombinuje buď s přesným kuličkovým šroubem, nebo s méně přesnou variantou, válcovaným kuličkovým šroubem. Konstrukční náčrt a základní rozměry matice BRL jsou na Obr. 26) a v Tab 4) [20].

Souhrnné vlastnosti matice BLR [20]:

- Pevné uložení šroubu v kombinaci s rotující maticí umožňuje použití hřídele kuličkového šroubu o menším průměru.
- I při hřídeli o malém průměru mohou být použity vysoké otáčky.
- Snížením setrvačného momentu fixací hřídele kuličkového šroubu umožňuje užití motoru o menším výkonu.
- Plynulejší pohyb než při použití pastorku s hřebenem.
- Rotace matice namísto dlouhého šroubu eliminuje vibrace v soustavě, snižuje její hlučnost a generuje se méně tepla.
- Použití víčkového převodu vykazuje nižší hlučnost cirkulace kuliček v matici i při vysokých otáčkách.
- Ložisko uložení matice je větší, než by bylo ložisko pro uložení hřídele. Z toho plyne značný nárůst axiální tuhosti.
- Díky integrovanému ložisku přímo na matici je rotující matice kompaktní.
- Snadná montáž pomocí kalibrovaného průměru uložení a otvorů pro šrouby v přírubě pouzdra matice.



Obr. 26) Výkres rotující matice BLR se základními rozměry [THK] [20]

Tab 4) Základní rozměry a technické vlastnosti rotující matice BLR [20]

Označení modelu	Průměr hřídele d	Stoupání Ph	Základní hodnoty únosnosti				Základní rozměry KŠM				Únosnost ložisek matice		Moment setrvačnosti matice [kg * cm ²]
			Ca [kN]		C0a [kN]		Vnější průměr D	Průměr příruby D1	Celková délka L1	Průměr D3	Ca [kN]	C0a [kN]	
			Přesný	Válcovaný	Přesný	Válcovaný							
BLR 1616-3.6	16	16	7,1	5,8	14,3	12,9	52 ⁰ _{-0,007}	68	43,5	40 ⁰ _{-0,025}	19,4	19,2	0,48
BLR 2020-3.6	20	20	11,1	7,7	24,7	22,3	62 ⁰ _{-0,007}	78	54	50 ⁰ _{-0,025}	26,8	29,3	1,44
BLR 2525-3.6	25	25	16,6	12,1	28,7	35,0	72 ⁰ _{-0,007}	92	65	58 ⁰ _{-0,03}	28,2	33,3	3,23
BLR 3232-3.6	32	32	23,7	17,3	59,5	53,9	80 ⁰ _{-0,007}	105	80	66 ⁰ _{-0,03}	30	39	6,74
BLR 3636-3.6	36	36	30,8	22,4	78	70,5	100 ⁰ _{-0,008}	130	93	80 ⁰ _{-0,03}	56,4	65,2	16,8
BLR 4040-3.6	40	40	38,7	28,1	99,2	89,8	110 ⁰ _{-0,008}	140	98	90 ⁰ _{-0,035}	59,3	74,1	27,9
BLR 5050-3.6	50	50	57,8	42,1	155	140,4	120 ⁰ _{-0,008}	156	126	100 ⁰ _{-0,035}	62,2	83	58,2

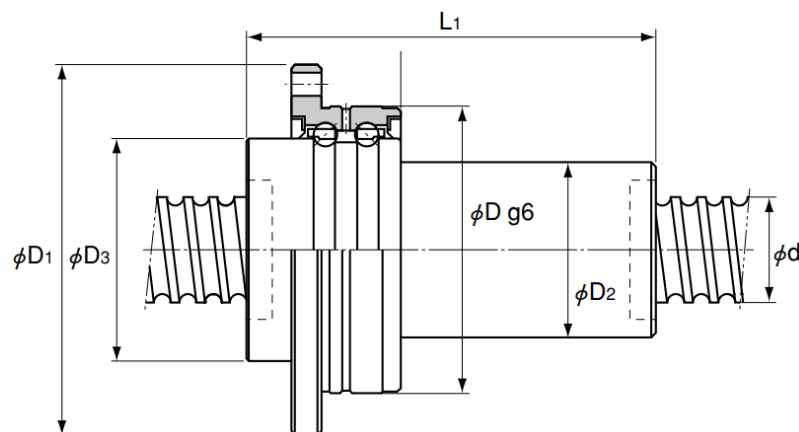
6.1.2 Matice DIR

Rotující matice typu DIR má strukturu jednoduché matice, která je pouze osazena integrovanými ložisky. Jsou použita dvě zrcadlově otočená ložiska typu DB s kosoúhlým stykem, která jsou umístěna vedle sebe. Úhel dotyku valivých elementů je 45 °. Užití dvou opačně orientovaných ložisek nám umožňuje vytvořit mezi nimi předpětí, které je v aplikaci rotujících matic žádoucí, nebo i nutné. Převod kuliček je zprostředkován pomocí interního převodu lůžky a předpětí v KŠM je vyvoláno diferencí ve stoupání závitu matice. Konstrukční náčrt a základní rozměry matice DIR jsou na Obr. 27) Obr. 26) a v Tab 5) Tab 4) [20].

Souhrnné vlastnosti matice DIR [20]:

- Vnější průměr je menší díky použití lůžek => kompaktní řešení.
- Menší moment setrvačnosti.
- Snížením setrvačného momentu fixací hřídele kuličkového šroubu umožňuje užití motoru o menším výkonu.
- I přes rotaci matice je sestava schopna přesného polohování.
- Konstrukční řešení jednoduché pro vycentrování matice a dosažení přesnosti uložení.

- Dbá se na rovnoměrné rozložení lůžek po obvodu, z čehož plyne vyvážený chod matice při rotaci.
- Motor může být připojen nezávisle na hřídeli, nebo matici kuličkového šroubu a tím pádem nedochází k nerovnému dodávání momentu v nízkých otáčkách motoru.



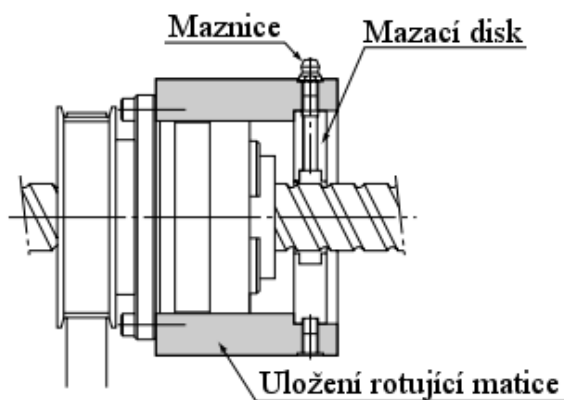
Obr. 27) Výkres rotující matice DIR se základními rozměry [THK] [20]

Tab 5) Základní rozměry a technické vlastnosti rotující matice DIR [20]

Označení modelu	Průměr hřídele d	Stoupání Ph	Základní hodnoty únosnosti		Základní rozměry KŠM					Únosnost ložisek matice		Moment setrvačnosti matice [kg * cm ²]
			Ca [kN]	C0a [kN]	Vnější průměr D	Průměr příruby D1	Celková délka L1	Průměr D2	Průměr D3	Ca [kN]	C0a [kN]	
DIR 1605-6	16	5	7,4	13,0	48	64	79	30	36	8,7	10,5	0,61
DIR 2005-6	20	5	8,5	17,3	56	72	80	34	43,5	9,7	13,4	1,18
DIR 2505-6	25	5	9,7	22,6	66	86	88	40	52	12,7	18,2	2,65
DIR 2510-4		10	9,0	18,0	66	86	106	40	52	12,7	18,2	2,84
DIR 3205-6	32	5	11,1	30,2	78	103	86	46	63	13,6	22,3	5,1
DIR 3206-6		6	14,9	37,1	78	103	97	48	63	13,6	22,3	5,68
DIR 3210-6		10	25,7	52,2	78	103	131	54	63	13,6	22,3	8,13
DIR 3610-6	36	10	28,8	83,8	92	122	151	58	72	20,4	32,3	14,7
DIR 4010-6	40	10	29,8	69,3	100	130	142	62	79,5	21,5	36,8	20,6
DIR 4012-6		12	30,6	72,3	100	130	167	62	79,5	21,5	36,8	22,5

6.1.3 Řešení mazání rotující matice firmou THK

Firma THK ve svém katalogu uvádí řešení mazání za pomoci tzv. greasing plate [mazací disk] (viz Obr. 28)). K nepohyblivému uložení rotující matice (stůl, rám, konzola...) je připevněna maznice, která může být napojena na centrální mazací systém, nebo obsluhována ručně pomocí mazací pistole. Přes maznici putuje mazivo do děr v mazacím disku. Mazací disk poté rozvede mazivo až na hřídel kuličkového šroubu.



Obr. 28) Schéma mazání rotující matice [THK] [20]

Z výše uvedeného obrázku není zřejmé, jak bude provedeno utěsnění, aby se aplikované mazivo pohybovalo pouze v oblasti rotující matice. Je totiž obvyklé, že mazivo je aplikováno přímo do vnitřního prostoru matice a utěsněno ucpávkami, aby nebylo v kontaktu s okolním prostředím, které může mazivo jednodušeji degradovat a kontaminovat nečistotami.

Upřesnění požadavků na mazání rotujících matic probíhá až v jednání s firmou THK, která doporučí daný typ maziva a mazacího mechanismu pro žádanou aplikaci. Pohled autora vidí jako vhodnou variantu v aplikaci s rotující maticí mazivo THK AFA Grease [AFA – označení; Grease – průmyslový tuk].

Mazivo AFA – průmyslový tuk [42]:

Mazivo AFA je vyrobeno na základě vysoce kvalitních syntetických olejů a zhuštěný průmyslovou močovinou (diamid kyseliny uhličitě – $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$). Řadí se mezi vysoce kvalitní maziva s dlouhou životností. Oblast využití nachází všeobecně v průmyslových strojích.

Vlastnosti průmyslového tuku AFA [42]:

- Dlouhý interval údržby.
- Široký rozsah teplot užívání – $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+160\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Viskozita $25\text{ mm}^2/\text{s}$ při $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- I za nízkých teplot stačí k rozpohybování pouze malý startovací moment.
- Vysoká voděodolnost.
- Vysoká odolnost proti oxidaci.
- Velká stabilita mechanických vlastností.

6.2 PMI

Firma PMI taktéž nabízí rotující matice dvou druhů, jako firma THK. Řada rotujících matic s označením FSWT je s vloženými ložisky a řada FSKT s integrovanými ložisky. V případě rotující matice FSWT se konstrukce výrazně liší od konkurence na trhu. Blíže budou rotující matice popsány v kapitolách níže [Příloha E2].

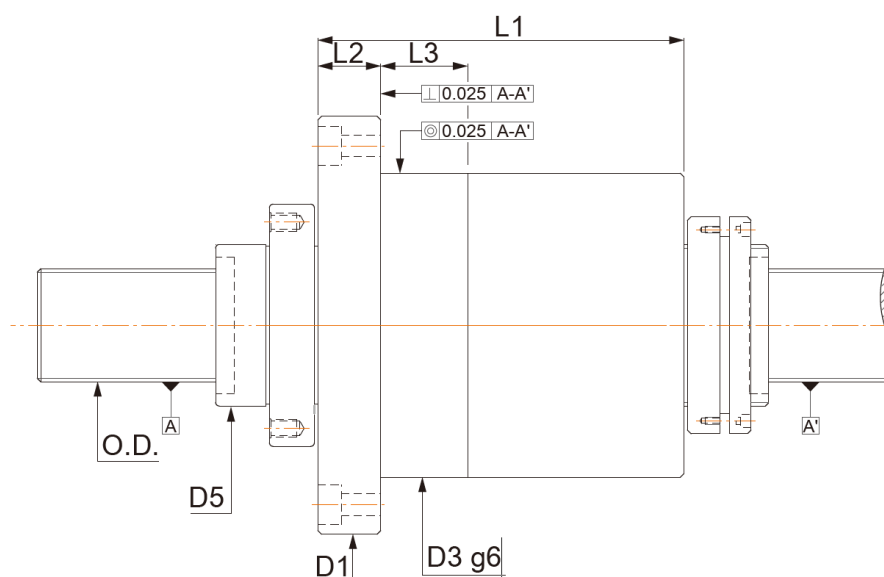
6.2.1 Matice FSWT

Jak již bylo zmíněno, rotující matice FSWT jsou s vloženými ložisky. Matice využívají neobvyklý druh a uspořádání ložisek. Oproti konkurenci jsou využity čtyři ložiska z toho dvě axiální válečková a dvě radiální jehlová (viz Obr. 31) na straně 48). Konkurenční produkty s vloženými ložisky převážně používají pouze dvě axiálně-radiální ložiska s kosoúhlým stykem, kde valivým elementem bývá kulička, nebo kuželík [Příloha E2].

Rotující matice FSWT je používána ve spolupráci s broušenými kuličkovými šrouby. Náhon je zprostředkován nejčastěji se synchronním ozubeným řemenem. Tato pohonná jednotka může nalézt uplatnění například u CNC obráběcích center s dlouhým posuvem. Rozměrové řady a únosnosti jednotlivých komponent lze nalézt v 0. Uvedená tabulka se vztahuje k Obr. 29) [Příloha E2].

Souhrnné vlastnosti matice FSWT [Příloha E2]:

- Pro vysoké rychlosti bez ovlivnění velkým momentem setrvačnosti od šroubu.
- Dosahuje vysokých zrychlení díky velkým stoupáním a stále dosahuje vysoké přesnosti polohování.
- Konce hřídelů mohou být jednoduché, protože nepotřebují uložení do ložisek.
- Je možné mazat ložiska i KŠM najednou.
- Odstředivé síly od rotace matice zvyšují obtížnost mazání.



Obr. 29) Náskres rotující matice FSWT [PMI] [Příloha E2]

Tab 6) Základní rozměry a technické vlastnosti rotující matice FSWT [Příloha E2]

Rozměry šroubu		Počet pracovních závitů	Základní rozměry [mm]						Únosnosti [kN]									
Průměr závitů	Stoupání		D1	D3 g6	D5	L1	L2	L3	Základní únosnost KŠM		Válečkové ložisko axiální		Jehlové ložisko					
O.D.									Dynamická	Statická	Dynamická	Statická	Dynamická	Statická				
									Ca	Co	Ca	Co	Ca	Co				
40	16	2,5 x 1	198	150	80	202	25	25	36,7	86,2	99,7	390	106	240				
		3,5 x 1							47,8	117								
		5,5 x 1							58,4	147,8								
	20	1,5 x 1							21,4	49,1					99,7	390	106	240
		2,5 x 1							31,2	76,3								
		3,5 x 1							40,5	103,6								
		5 x 1							49,5	130,9								
	40	1,5 x 1							21,4	49,1								
50	16	2,5 x 1	222	170	97	208	30	30	40	110,5	142	569	96,9	259				
		3,5 x 1							52	150								
		5 x 1							63,6	189,3								
	20	2,5 x 1							46,6	118,6					142	569	96,9	259
		3,5 x 1							60,6	160,9								
		5 x 1							74,1	203,3								
		1,5 x 1							31,9	76,2								
	63	16							3	262					210	120	228	40
4			64,6	190,6														
5			78,9	240,7														
20		3	83,3	231,6	149	617	168	446										
		4	106,6	308,8														
		5	130,4	390,1														
		1,5 x 1	130,4	390,1														
80		16	3	280	220	135	240	50	50		95,8	311	184	798				
	4		122,7							414,7								
	5		150							523,8								
	20	3	95,8							311	184	798			173	474		
		4	122,7							414,7								
		5	150							523,8								
		1,5 x 1	150							523,8								
	100	16	3							315	235	135			250	60	60	109
4			141,7	539,2														
5			171,6	674														
20		3	109	397,3	189	885	211	567										
		4	141,7	539,2														
		5	171,6	674														
		1,5 x 1	171,6	674														

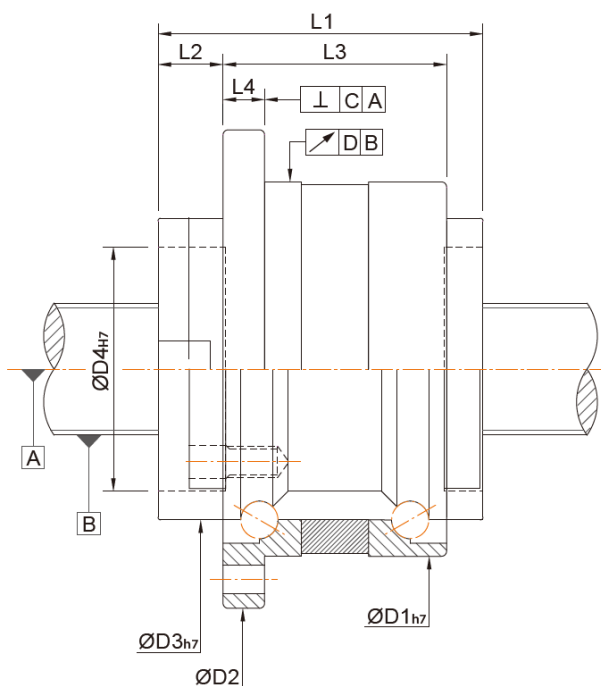
6.2.2 Matice FSKT

Jedná se o rotující matici s integrovanými ložisky. Jsou použita dvě radiálně-axiální kuličková ložiska s kosoúhlým stykem, každé na jedné straně konce tělesa matice (viz Obr. 30)). Jejich uspořádání je do „O“ pro dosažení, co nejlepších vlastností. Kuličky se v ložisku dotýkají pod úhlem 60 ° [Příloha E2].

Souhrnné vlastnosti matice FSKT [Příloha E2]:

- Kompaktní design díky integrovaným ložiskům.
- Kosoúhlý styk v ložiscích umožňuje větší axiální zatížení.
- Vymezená vůle a zvýšená tuhost dovolu je sestavě vysokou přesnost polohování.
- Jednoduché uložení do stroje pomocí šroubů.
- Připraveno na přímé použití s řemenicí.
- Konce hřídelů mohou být jednoduché, protože nepotřebují uložení do ložisek.

Matice FSKT nalézá užití v aplikacích s fixním hřídelem kuličkového šroubu. Oblast užití je například v polovodičovém odvětví, robotech, dřevoobráběcích strojích, laserových CNC strojích apod. Nabídku rotujících matic řady FSKT naleznete v Tab 7) (vztažené k Obr. 30)) [Příloha E2].



Obr. 30) Náčrten rotující matice FSKT [PMI] [Příloha E2]

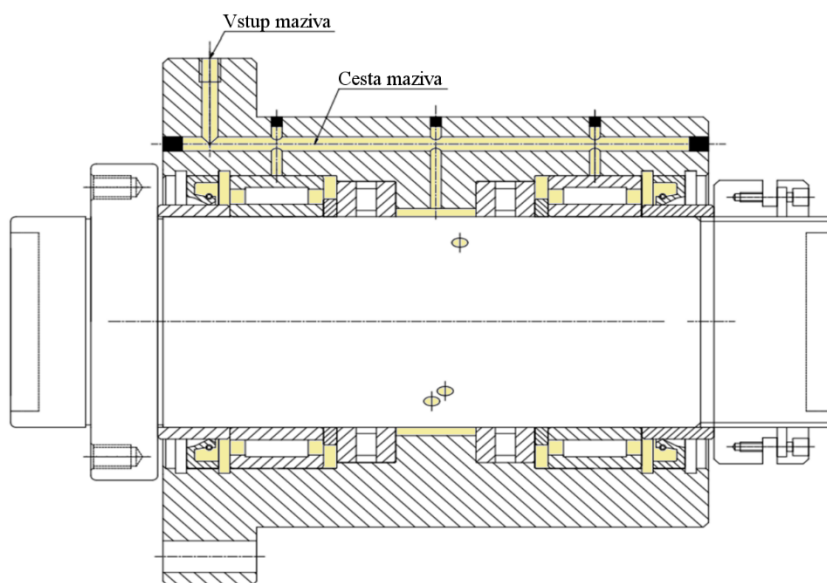
Tab 7) Základní rozměry a technické vlastnosti rotující matice FSKT [Příloha E2]

Rozměry šroubu		Počet pracovních závitů	Základní rozměry [mm]								Únosnosti [kN]			
Průměr závitů	Stoupání		D1 h7	D2	D3 h7	D4 H7	L1	L2	L3	L4	Základní únosnost KŠM		Integrované ložisko	
											Dynamická Ca	Statická Co	Dynamická Ca	Statická Co
O.D.														
16	16	1,8 x 1	52	68	40	32	43,5	9	27,5	5	3,83	6,86	19,81	19,1
20	20	1,8 x 1	62	78	50	39	54	11	34	6	5,98	12,2	26,5	28,4
25	25	1,8 x 1	72	92	58	47	65	12,5	43	8	8,92	19,1	27,4	31,8

6.2.3 Řešení mazání rotující matice firmou PMI

Firma PMI podotýká ve svém katalogu, že mazání rotující matice je obtížný úkol. Jak již bylo zmíněno, největší problém dělají odstředivé síly vznikající od rotace tělesa matice. Řešení mazání pro matice FSWT je firmou PMI řešeno jednoduše a podobně, jako je běžné u nerotujících matic. Skrze vnější kroužek, který je při používání KŠM stacionární (neotáčí se), je vyvrtána soustava kanálků. Maznice připevněná na vnějším průměru příruby vpouští mazivo skrze kanály, které jej následně rozvádí do ložisek a přes vnitřní těleso matice s otvory na hřídel kuličkového šroubu a do prostoru cirkulace kuliček [Příloha E1].

Dle autora je toto řešení jednoduché, a ne příliš dokonalé pro aplikaci v oblasti rotujících matic. Matice bude nejspíše domazávána pouze za klidu a fakt, že mazivo musí procházet pouze otvory na vnějším průměru tělesa matice, které musí být umístěny pouze v prostorech nepracovní části závitu, dosti ztěžuje jeho aplikaci přímo na hřídel kuličkového šroubu. Rovněž rozdělení maziva mezi ložiska a vnitřní prostor matice nemusí být ideální.



Obr. 31) Způsob mazání rotující matice FSWT [PMI] [Příloha E1]

6.3 HIWIN

Nabídka rotujících matic firmy HIWIN je rozdělena na zahraniční a český trh. Český katalog nabízí matici typu AME a zahraniční katalog nabízí matici typu R1. Dále je k nalezení i matice typu R2, která nefiguruje v žádném katalogu a vyskytuje se pouze na tchajwanských stránkách firmy HIWIN. Všechny matice budou detailněji popsány v následujících kapitolách.

6.3.1 Matice AME

Konstrukce rotující matice typu AME spočívá v osazení klasické přírubové matice ložiskem typu ZKLF a řadí se tedy do kategorie rotujících matic s vloženým ložiskem. Ložisko je na matici zajištěno pojistnou maticí HIR. Pohon matice je zprostředkován pomocí řemenice, která však není součástí dodávky. Ucelený náhled na soustavu podá model na Obr. 32) [29].



Obr. 32) Rotující matice AME [HIWIN] [30]

Souhrnné vlastnosti matice AME [29] [30]:

- Matice pro přesně okružované kuličkové šrouby.
- Broušené kuličkové dráhy u matic.
- Provedení se sníženou, nebo vymezenou vůlí.
- Lze dodat i v provedení s dvojitou předepnutou maticí.
- Právě i levé provedení.
- Délky hřídelů kuličkových šroubů do 6500 mm.
- Třída přesnosti P5 (0,023/300 mm).
- Třída přesnosti P7 (0,052/300 mm).

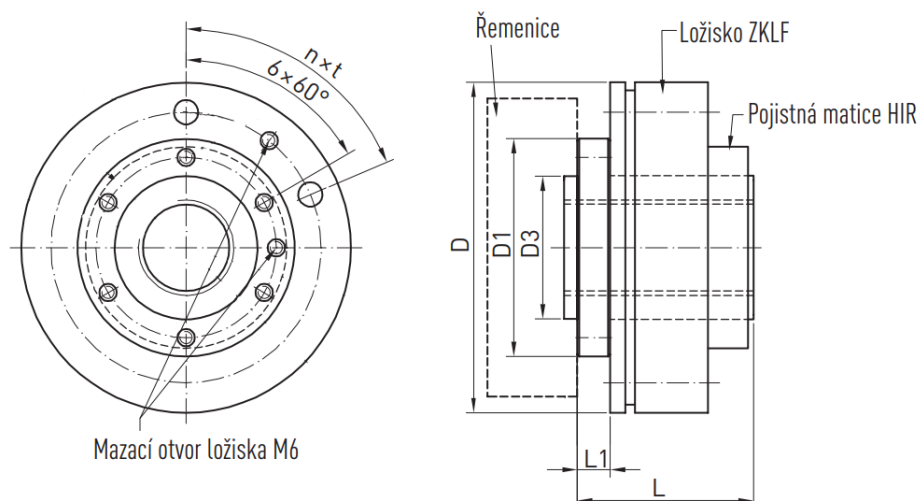
Ložisko ZKLF

Jedná se o dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem, které lze vidět na Obr. 33). Úhel styku valivých elementů je 60 °. Ložisko je navrženo do uspořádání „O“, což propůjčuje sestavě vysokou tuhost. Vnitřní kroužek ložiska je dělený, aby bylo možno ložisko předepnout. Vnější kroužek je dostatečně robustní, aby fungoval zároveň jako připojovací člen mezi maticí a jejím uložení ve stroji. Ložisko je možno vybavit trvalou tukovou náplní, nebo pomocí radiálních či axiálních děr ve vnějším kroužku připojit na recirkulační mazací systém, jak je tomu v případě matice AME. Drážka, které lze vidět na vnějším průměru ložiska (viz Obr. 32)) je pouze technologická drážka pro jeho demontáž [29].



Obr. 33) Řez ložiskem ZKLF [31]

Celkovou nabídku rozměrových možností rotující matice AME udává Tab 8) . Rozměry z uvedené tabulky se vztahují k nákresu matice z Obr. 34).



Obr. 34) Konstrukční řešení matice AME [HIWIN] [29]

Tab 8) Základní rozměry a technické vlastnosti rotující matice AME [29]

Označení matice	Údaje o matici						Ložisko		Únosnost		Maximální otáčky
	Stoupání	Průměr závitu	Průměr příruby	Průměr tělesa matice	Celková délka matice	Šířka příruby	Označení	Vnější průměr	Dynamická	Statická	
	P	ds	D1	D3 h7	L	L1			C_{dyn} [N]	C_0 [N]	
AME1605-R-3EF	5	16	50	30	50	10	ZKLF3080	80	9600	12700	4000
AME2005-R-4EF	5	20	63	40	60	12	ZKLF40100	100	13900	21800	3300
AME2505-R-4EF	5	25	76	50	63	15	ZKLF50115	115	15600	27900	3000
AME2510-R-3EF	10	25	76	50	74	15	ZKLF50115	115	24100	36200	3000
AME3205-R-5EF	5	32	76	50	70	15	ZKLF50115	115	20700	43900	3000
AME3210-R-4EF	10	32	76	50	105	15	ZKLF50115	115	40900	63200	3000
AME3220-R-2EB	20	32	76	50	100	15	ZKLF50115	115	20300	26800	3000
AME4005-R-5EF	5	40	90	60	76	15	ZKLF60145	145	22500	54600	2800
AME4010-R-3EF	10	40	90	60	85	15	ZKLF60145	145	37100	61900	2800
AME4020-R-2EB	20	40	90	60	105	15	ZKLF60145	145	23800	36400	2800
AME5005-R-5EF	5	50	100	70	70	15	ZKLF70155	155	24900	69800	2500
AME5010-R-4EF	10	50	100	70	95	15	ZKLF70155	155	52800	106800	2500
AME5020-R-3EB	20	50	100	70	120	15	ZKLF70155	155	40000	76200	2500
AME6310-R-6EF	10	63	130	90	120	20	ZKLF90190	190	84700	210800	2000

6.3.2 Matice R1

Rotující matice R1 (viz Obr. 35)) spadá do kategorie rotujících matic s integrovaným ložiskem. Integrované ložisko je zkonstruováno, jako ložisko dvouřadé s kosoúhlým stykem a úhlem doteku valivých elementů pod úhlem 45° . Dráhy kuliček v ložisko jsou konstruovány do tvaru uložení „X“. K předepnutí ložiska dochází přitažením dvou částí vnějšího pouzdra k distančnímu kroužku. Pro cirkulaci kuliček v matici kuličkového šroubu je použito koncových víček, které mají charakteristiku axiálního převaděče kuliček.

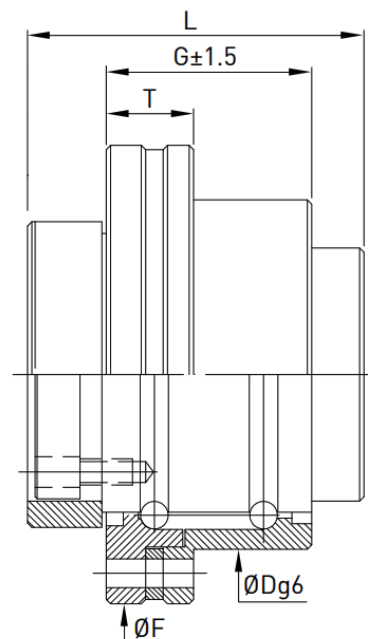
Souhrnné vlastnosti matice R1 [32]:

- Kompaktní design díky integrovanému ložisku.
- Jednoduchá instalace pomocí šroubů a příruby rotující matice.
- Vnitřní otáčející se jednotka nevytváří efekt momentu setrvačnosti.
- Může být použit nižší výkon pro dosažení rychlých pohybů.
- Vyšší tuhost a únosnost díky ložisku s kosoúhlým stykem.
- Bezvůlové uložení rotující matice.
- Nižší hlučnost i při vysokých otáčkách.

Celkovou nabídku rozměrových možností rotující matice R1 udává Tab 9) . Rozměry z uvedené tabulky se vztahují k nákresu matice z Obr. 36).



Obr. 35) Rotující matice R1
[HIWIN] [32]



Obr. 36) Nákres rotující matice R1
[HIWIN] [34]

Tab 9) Základní rozměry a technické vlastnosti rotující matice R1 [34]

Označení matice	Údaje o matici						Únosnost ložiska			Maznice
	Stoupání	Průměr závitu	Průměr tělesa matice	Celková délka matice	Průměr příruby	Šířka příruby vnějšího pouzdra	Šířka vnějšího pouzdra	Dynamická	Statická	
	P	ds	D	L	F	T	G	C _{dyn} [kgf]	C ₀ [kgf]	
16-16S2	16	16	52	44	68	13	25	819	1448	M4x0.7P
20-20S2	20	20	62	50	78	13	30	1145	2085	M4x0.7P
25-25S2	25	25	72	63	92	13	36	1228	2486	M4x0.7P
32-32S2	32	32	80	80	105	20	47	2010	4134	M6x0.75P
40-40S2	40	40	110	98	140	20	62	3127	6906	M6x0.75P

6.3.3 Matice R2

Tchajwanská pobočka firmy HIWIN nezmiňuje o matici mnoho informací, ale můžeme podotknout alespoň tyto [33]:

- Matice s integrovanými ložisky.
- Tenčí příruba, než mají normální kuličkové šrouby firmy HIWIN.
- Jednoduchá instalace pomocí šroubů a příruby rotující matice.
- Nízké výkonové požadavky na motor.
- Vyšší tuhost a odolnější proti prohnutí o 20 až 30 % díky uspořádání ložisek do „O“.
- Utěsněná ložiska proti prachu a částečkám.

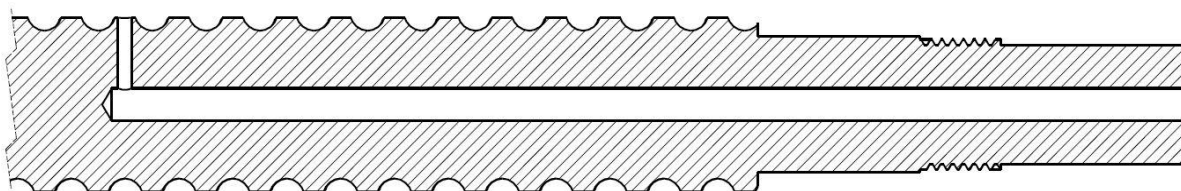
Lepší představu o konstrukčním provedení rotující matice typu R2 od firmy HIWIN nám nabídne Obr. 37).



Obr. 37) Rotující matice R2 [HIWIN] [33]

6.3.4 Řešení mazání rotující matice firmou HIWIN

Firma HIWIN maže rotující matice tukem, který je vstřikován kanálkem přímo dovnitř tělesa rotující matice (viz Obr. 38)). Kanálek vede axiálně z čela šroubu a je vyveden radiálně do nefunkční části závitu. Konec kanálku na čele šroubu je připojen k centrálnímu mazacímu systému stroje, který mazivo dávákuje. Matice poté v daných intervalech přijíždí na referenční polohu nad tento kanálek, kde je do ní mazivo vstříknuto. Délka intervalu mezi mazáním je ovlivněna užitým druhem maziva, velikostí matice, zatížením kuličkového šroubu a dalšími okolními podmínkami. Jako mazivo k rotující matici AME nabízí firma HIWIN jejich průmyslový mazací tuk HIWIN PLO-05 [30].



Obr. 38) Návrh hřídele kuličkového šroubu s kanálky pro mazání rotující matice

Vlastnosti mazacího tuku PLO-05 [43]:

- Měkké až střední konzistence.
- Vyrobeno na bázi rafinovaného minerálního oleje.
- Jako ztužovač je použito speciální lithné mýdlo.
- Ochrana proti vysokým tlakům a nárazům.
- Velmi dobré vlastnosti proti opotřebení.
- Nízký koeficient tření.
- Vysoká oxidační stabilita.
- Dlouhá životnost.
- Odolnost proti vodě.
- Ochrana proti korozi.
- Rozsah teplot od -30 °C až do +130 °C.

Způsob mazání rotující matice prováděný firmou HIWIN autor shledává jednoduchým a efektním. Bohužel vyvstává velký nedostatek tohoto řešení a to ten, že mazání není prováděno za aktivního chodu stroje (např. při obrábění). Je tedy vytvořen nový neproduktivní čas stroje. Vážnost nedostatku lze posoudit vzhledem k tomu, jak často je doplnění potřeba. U běžných aplikací tomu může být například jednou za 200 až 600 hod práce stroje, při neznečištěném okolí. Východiskem z této situace může být umístění otvoru na pozici, kde se matice nachází během již nějakého neproduktivního času stroje (např. výměna nástroje). Neproduktivní operace stroje budou tedy probíhat paralelně bez prodlužování těchto časů [35].

Přítomností mazacího kanálku v hřídeli kuličkového šroubu se značně ztěžuje zhotovení vnitřního chlazení kuličkového šroubu, což lze považovat za nevýhodu tohoto druhu mazání.

6.4 Rexroth BOSCH group

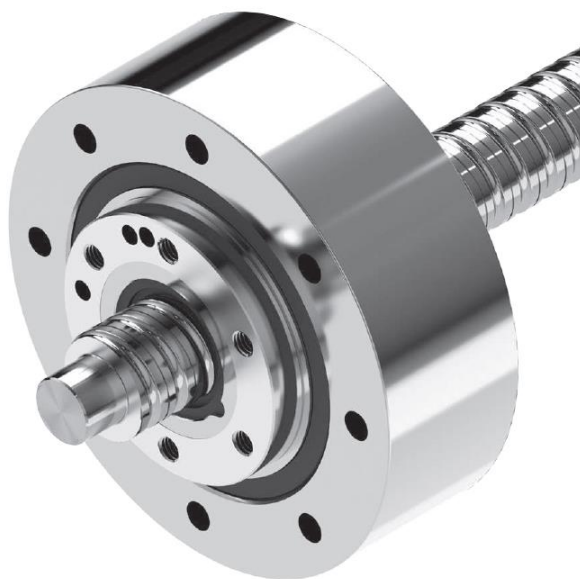
6.4.1 Matice FAR-B-S

Oddělení Rexroth – The drive and control company společnosti BOSCH disponuje ve své nabídce jedním typem rotující matic. Rotující matice s označení FAR-B-S (viz Obr. 39)) spadá do kategorie rotujících matic s vloženým ložiskem. Celá sestava se skládá z klasické kuličkové přírubové matice, vkládaného ložiska a pojistné, drážkované matice NMZ. Ložisko využívané pro tento typ matice je dvouřadé s kosoúhlým stykem. Uspořádání uložení valivých drah v ložisku je do „O“. Výrobce je schopen k matici dodat hřídel kuličkového šroubu s vnitřním chlazením, pohon se synchronním řemenem a AC servo motor [36] [37].

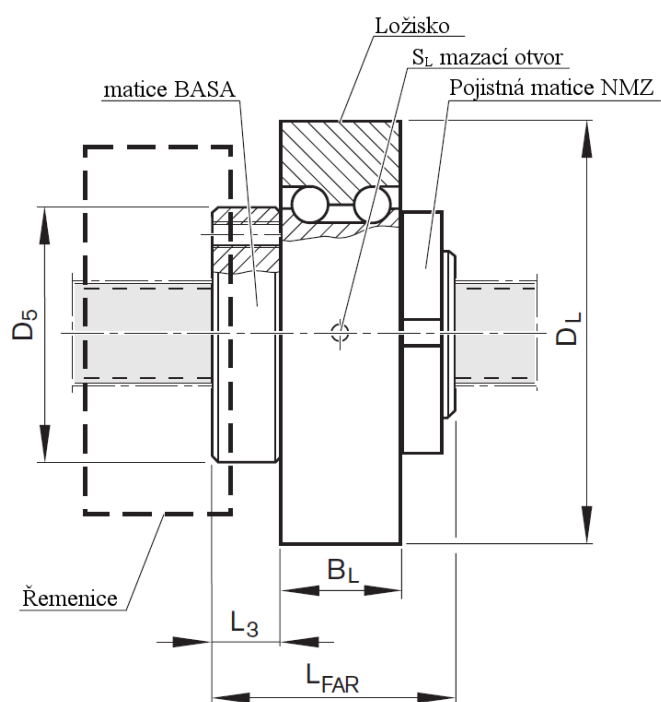
Souhrnné vlastnosti matice FAR-B-S [36] [37]:

- Pro kuličkové šrouby přesnosti T5, T7, T9 a P1, P3, P5.
- Možnost předepnutí 2 %, nebo 5%.
- Možnost třech tříd předpětí pro matici.
- Dosahuje vyšších rychlostí než aplikace s poháněným šroubem.

Celkovou nabídku rozměrových možností rotující matice FAR-B-S udává 0. Rozměry z uvedené tabulky se vztahují k nákresu matice z Obr. 40).



Obr. 39) Rotující matice FAR-B-S [Rexroth BOSCH group] [36]



Obr. 40) Náskres rotující matice FAR-B-S [Rexroth BOSCH group] [36]

Tab 10) Základní rozměry a technické vlastnosti rotující matice FAR-B-S [36]

Rozměrové označení	Zkladní rozměry [mm]					Únosnost		Tuhost
Průměr závitu x stoupání x průměr kuličky x počet pracovních závitů	Celková délka matice	Průměr příruby	Šířka příruby	Průměr ložiska	Šířka ložiska	Dynamická	Statická	Ložiska
$d_0 \times P \times Dw - i$	L_{FAR}	$D_5 h6$	L_3	$D_L -0.018$	B_L	$C [N]$	$C_0 [N]$	R_{aL} (Nm/ μm)
32 x 10R x 3.969 - 5	77	80	11	145	49	38000	58300	860
32 x 20R x 3.969 - 3	84					23600	33700	
32 x 32R x 3.969 - 3	120					23400	34000	
40 x 10R x 6 - 5	80	93	12	155	49	73400	109300	950
40 x 20R x 6 - 3	88					45500	62800	
40 x 40R x 6 - 3	142					44400	82300	
50 x 10R x 6 - 6	90	105	13	165	49	95600	166500	1050
50 x 20R x 6.5 - 5	132					90800	149700	
50 x 40R x 6.5 - 3	149					55800	85900	
63 x 10R x 6 - 6	100	130	20	190	60	106600	214300	1150
63 x 20R x 6.5 - 5	132					100700	190300	
63 x 40R x 6.5 - 3	149					64100	114100	

6.4.2 Řešení mazání rotující matice firmou Rexroth BOSCH group

Mazání u tohoto typ rotující matice je vyřešeno přes robustní vnější kroužek vkládaného ložiska (viz Obr. 40)). Ložisko má na vnějším kroužku radiální i axiální mazací otvor. K jednomu z otvorů je připojena maznice, na kterou je napojen centrální mazací systém stroje. Druhý otvor je zaslepen. Stroj poté v daných intervalech doplňuje mazivo přes vnitřní prostor ložiska až do pracovního prostoru matice. Délka intervalu opět závisí na rozměrech rotující matice, druhu aplikace KŠM a okolních podmínkách. Doplnění se musí provádět pouze za klidu matice, což by se dalo považovat jako nevýhoda a generátor neproduktivního času. Jako mazivo je používán průmyslový tuk NLGI Class 2 [36].

Informace o mazivu NLGI Class 2 [36]:

- Vysokovýkonný průmyslový tuk na základě lithia (DIN 51818).
- Dobrá voděodolnost.
- Ochrana proti korozi.
- Použití v teplotách od -20 do +80 °C.
- I pro krátké posuvy – 1 mm.
- Pro rychlostní rozpětí dovolené KŠM.

6.5 Steinmeyer

Společnost Steinmeyer nabízí jako rotační matici tři druhy matic s možností osazení ložiskem s kosoúhlým stykem. Nabízená rotační matice tedy spadá do kategorie rotujících matic s vkládaným ložiskem. Jedná se o typy matic 1414, 2424 a 3424 (označování dle firmy Steinmeyer) [24].

6.5.1 Matice řady 1414, 2424 a 3424

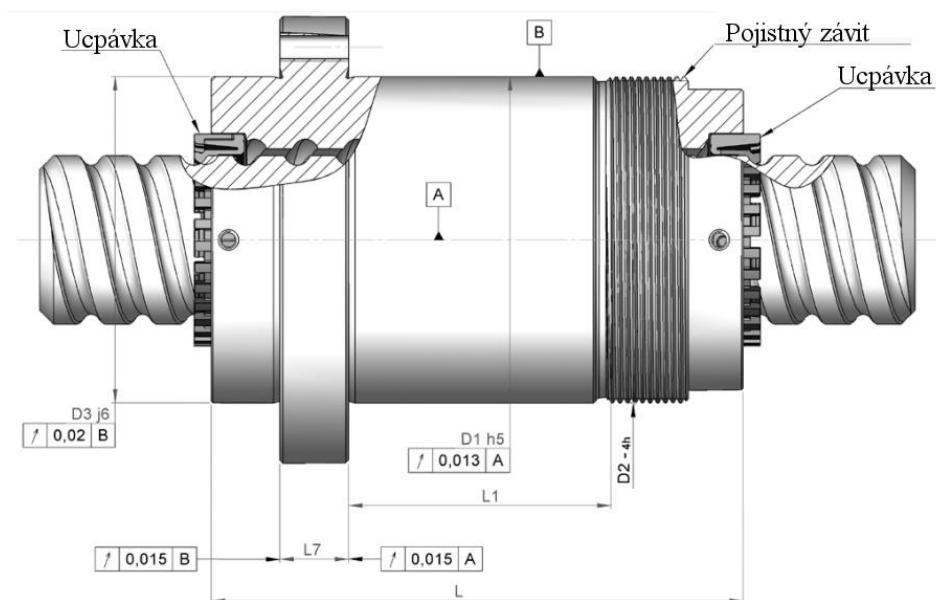
Vlastnosti jednotlivých typů matic [24]:

- Řada 1414 – Matice s přírubou, která využívá k převodu kuliček interních převáděcích lůžek.
- Řada 2424 – Dvouchodá matice s přírubou, která využívá k převodu kuliček příložná víčka na koncích matice.
- Řada 3424 – Dvouchodá matice s přírubou vysokorychlostního typu, která využívá k převodu kuliček axiálního převaděče.

Jednotlivé typy matic mají potom společné to, že na vnějším průměru tělesa matice je připraven závit k zajištění axiálního ložiska, příruba matice je z obou stran vybavena závity pro jednoduché uchycení řemenice šrouby z libovolné strany příruby a předpětí je v základu realizováno výběrem kuliček [24].

Souhrnné vlastnosti matic firmy Steinmeyer [24]:

- Na požádání i v provedení jiného druhu předpětí s dvoubodovým kontaktem.
- Může být také dodáno jako sestava řady ETA+ (speciální řada šroubů Steinmeyer s vylepšenými vlastnostmi, jako např. vyšší účinnost, větší tuhost, menší hlučnost atd.).
- Matice jsou dynamicky vyvážené.
- A další vlastnosti z Tab 1) na straně 36.



Obr. 41) Náskres rotující matice [Steinmeyer] [24]

Tab 11) Základní rozměry a technické vlastnosti rotující matice firmy Steinmeyer [24]

Označení matice	Typ matice	Základní rozměry [mm]									Únosnost	
		Stoupání	Průměr závitů hřídele	Průměr tělesa matice	Průměr pojistného závitů	Koncový průměr	Průměr příruby	Celková délka matice	Šířka pro ložisko	Šířka příruby	Dynamická	Statická
		P	d _N	D1	D2	D3	D6	L	L1	L7	C _a [kN]	C _{0a} [kN]
1414	5.25.3.5.5	5	25	40	M40x1.5	40	62	72	34	10	21,2	35,9
	10.25.3.5.3	15	25	40	M40x1.5	40	62	82	34	10	13,6	21,4
	20.25.3.5.4	20	25	40	M40x1.5	40	62	82	34	10	17,1	29,5
2424	20.25.3.5.4	20	25	40	M40x1.5	40	62	82	34	10	17,1	29,5
1414	5.32.3.5.6	5	32	50	M50x1.5	50	80	74	34	12	29,0	59,0
	10.32.6.5	10	32	50	M50x1.5	50	80	104	34	12	47,8	76,0
	15.32.6.3	15	32	50	M50x1.5	50	80	99	34	12	30,5	45,3
3424	20.32.6.6	20	32	60	M60x2	60	86	88	45	14	57,9	100,0
1414	10.40.7.5.6	10	40	70	M70x2	65	93	119	45	14	83,7	142,7
	15.40.7.5.4	15	40	70	M70x2	65	93	117	45	14	58,7	94,8
	20.40.7.5.3	20	40	70	M70x2	65	93	117	45	14	45,5	70,7
3424	20.40.6.8	20	40	70	M70x2	65	93	109	45	14	84,7	172,2
	25.40.6.6	25	40	70	M70x2	65	93	107	45	14	64,3	125,4
1414	10.50.7.5.6	10	50	80	M80x2	75	1110	120	45	16	95,6	186,5
	15.50.9.4	15	50	80	M80x2	75	110	125	45	16	98,8	173,9
	20.50.9.3	20	50	80	M80x2	75	110	128	45	16	76,8	130,0
3424	25.50.7.5.8	25	50	90	M90x2	85	125	130	55	18	126,6	269,1
	30.50.7.5.6	30	50	90	M90x2	85	125	120	55	18	96,3	196,3
	40.50.7.5.6	40	50	90	M90x2	85	125	149	55	18	94,6	193,6
3424	25.60.9.8	25	60	100	M100x2	95	135	131	55	20	214,5	492,9
	30.60.9.8	30	60	100	M100x2	95	135	151	55	20	213,5	491,0
	40.60.9.6	40	60	100	M100x2	95	135	150	55	20	161,5	356,7
1414	10.63.7.5.6	10	63	90	M90x2	85	125	120	55	18	107,4	241,3
	15.63.9.4	15	63	100	M100x2	95	135	131	55	20	114,7	239,9
	20.63.11.3	20	63	100	M100x2	95	135	132	55	20	115,3	209,4

6.5.2 Řešení mazání rotující matice firmou Steinmeyer

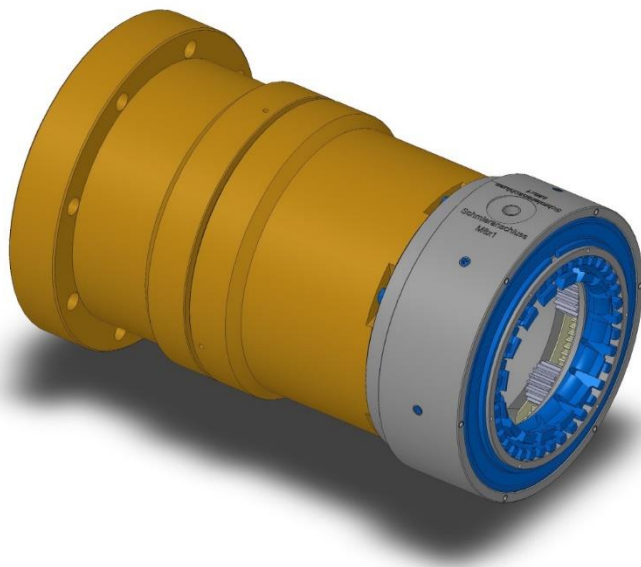
Řešení mazání rotujících matic od firmy Steinmeyer je nejkomplexnější na trhu. K mazání využívají přípojnou jednotku, která se přišroubuje na konec tělesa matice (viz Obr. 42)). Mazací jednotka se skládá z vnějšího pouzdra s ozubením na jeho vnitřním průměru, oběžných ozubených koleček a vnitřního kroužku s drážkami. Mezi vnějším a vnitřním kroužkem jsou dvě ložiska, která umožňují vzájemné otáčení těchto částí. Celá jednotka je připravena na osazení těsnící ucpávkou. Řez sestavou přídatné mazací jednotky je na Obr. 43).

Jako alternativu k přípojně jednotce nabízí společnost Steinmeyer řešení mazání pomocí díry v hřídeli kuličkového šroubu. Princip je totožný s principem osvětleným v kapitole 6.3.4 o řešení mazání společností HIWIN na straně 52. S tím rozdílem, že doplňování maziva probíhá častěji a po malých dávkách. Dle katalogu se doporučuje výstup maziva umístit do výhodné pozice, například do polohy, kde bude stát matice při výměně nástroje. Doplnění maziva může proběhnout, během již existujícího neproduktivního času a samotné mazání tedy neproduktivní čas neprodlužuje. Nevýhodou je obtížnější konstrukce vnitřního chlazení hřídele kuličkového šroubu, díky nutnosti zhotovit kanálek pro mazání [24].

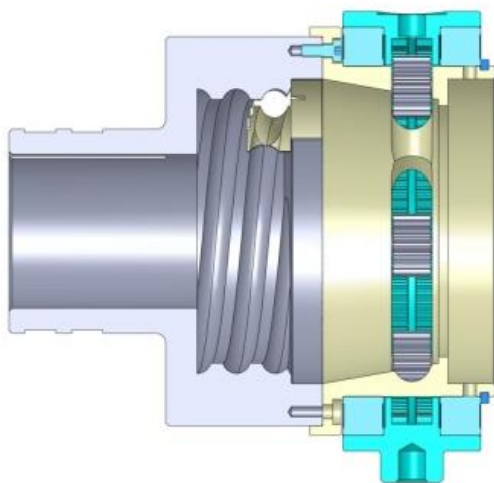
Princip funkce mazací jednotky Steinmeyer

Jednotka se pomocí šroubového spoje upevní vnitřním kroužkem na konec rotující matice. Vnější kroužek je napojen na centrální rozvod mazání a zároveň je zajištěn proti otáčení v uložení rotující matice. Výsledkem je potom stejný druh pohybů, jako provádí rotující matice:

vnitřní část rotuje a vnější je nepohyblivá vůči uložení, ve kterém se nachází. Je velice důležité, aby vnější kroužek byl nepohyblivý, protože je připojen k mazání. Kdyby tomu tak nebylo, vedení mazání by se přetrhalo rotací jednotky. Vnitřní kroužek má na svém průměru velké drážky, které umožňují přívod maziva na hřídel kuličkového šroubu. K ještě lepšímu rozvodu maziva napomáhají oběžná ozubená kolečka, které svou rotací směřují mazivo směrem ke šroubu kuličkového šroubu a eliminují tak odstředivé síly působící na mazivo od rotace vnitřního kroužku, resp. rotace tělesa matice.



Obr. 42) Mazací jednotka připojena k tělesu rotující matice [Steinmeyer] [Příloha E3]



Obr. 43) Řez mazací jednotkou [Steinmeyer] [Příloha E3]

Mazivo pro rotující matice Steinmeyer:

Společnost Steinmeyer ve svém katalogu pro rotující matice přímo neurčuje konkrétní druh použitého maziva v této aplikaci. Volba maziva záleží na mnoha faktorech, jako jsou například otáčky, zatížení KŠM, provozní teplota a další (viz kapitola 4.6). Vhodný výběr maziva lze provést pomocí webových stránek Steinmeyer, nebo po konzultaci s odborníkem společnosti Steinmeyer. Z přehledu nabízených mazacích tuků by autor volil tuk **Staburags NBU 8 EP** od výrobce Klüber [44].

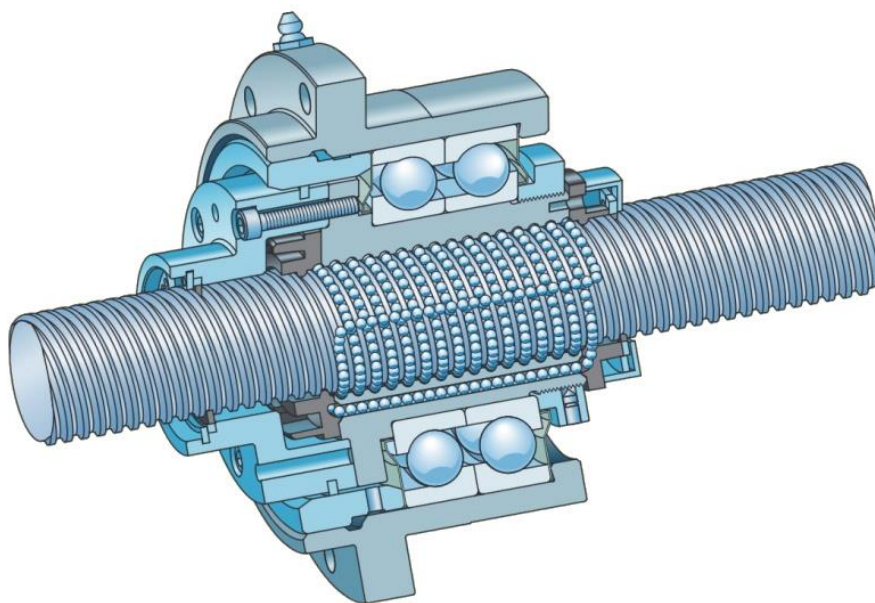
Informace o mazivu NBU 8 EP [44] [45]:

- Základem maziva je minerální olej a baryové příměsi.
- Pro vysoká zatížení s dlouhodobou trvanlivostí.
- Dobrá ochrana proti korozi.
- Odolný proti okolním nečistotám.
- Pracovní teplota od -20 °C do 140 °C.
- Viskozita 100 mm²/s při 40 °C.

6.6 SKF

6.6.1 Matice SLT/ TLT

Nabídka společnosti SKF nabízí dva typy rotujících matic s pojmenováním SLT a TLT. Konstrukčně jsou oba typy totožné. Liší se pouze tím, že řada rotujících matic SLT je vyráběna s axiální vůlí a řada TLT s vymezenou axiální vůlí. Je tedy zřejmé, že rotující matice řady SLT budou využívány na méně přesné aplikace, kde axiální vůle KŠM neovlivní funkci přístroje. Základní rozměry a nabídku rotujících matic lze nalézt v 0(vztaženo k Obr. 46)) a jejich tuhosti v Tab 13) . Rotující matice produkce SKF jsou s vloženými ložisky, které si společnost vyrábí sama. Ložiska jsou předepnuta a uspořádána do „O“, aby měla, co nejlepší vlastnosti pro vyrovnání momentu vzniklého od napnutého řemene pohonu. Ložiska spadají do řady 72 a více budou specifikovány níže v této kapitole [22] [38].



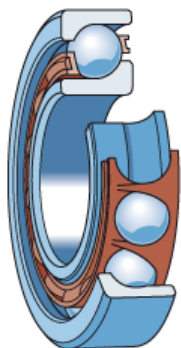
Obr. 44) Rotující matice SLT [SKF] [39]

Souhrnné vlastnosti matice SLT a TLT [38]:

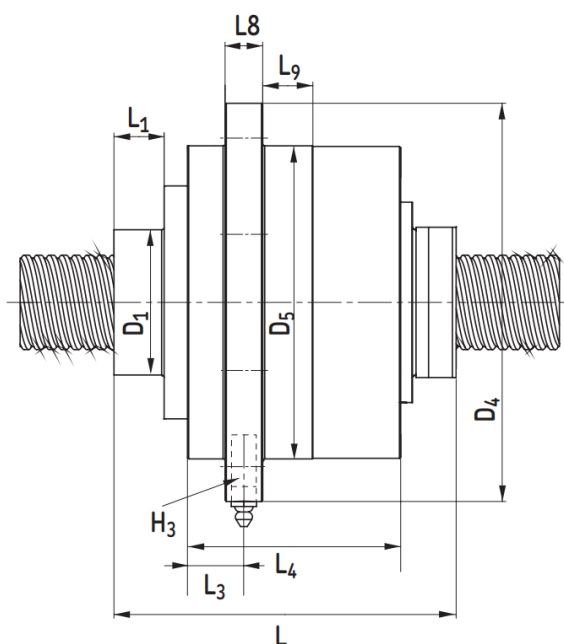
- Kartáčové stírací kroužky již ve standartu.
- Vysoká rychlost otáčení z čehož plyne i vysoká posuvová rychlost.
- Kompaktní, snadné a jednoduché řešení.
- Výrazně snížen moment setrvačnosti.
- Menší požadavky na výkon motoru.

Ložisko řady 72

Jedná se o jednořadé radiálně axiální ložisko s kosoúhlým stykem (viz Obr. 45)). Dotyk valivých elementů, kuliček, je ve standardním provedení pod úhlem 40° . Dokáže zachytit axiální zatížení pouze z jednoho směru, a proto se často používá ve spojení s dalším ložiskem v opačné orientaci. Jednotlivé tuhosti použitých ložisek jsou v Tab 13). Při použití v rotační matici společnosti SKF je ložisko bez těsnění. Pro utěsnění se v tomto případě používají dva těsnící kroužky Nilos, každý z jednoho konce sestavy dvojice ložisek (viz Obr. 44)). Těsnící kroužky slouží jako ochrana před nečistotami z okolí a zároveň jako hranice pro trvalou vnitřní náplň maziva. Jednořadé ložiska společnosti SKF s kosoúhlým stykem mají možnost prudké akcelerace a zpomalení a také disponují větší únosností, díky většímu počtu použitých valivých elementů [38] [40] [41].



Obr. 45) Radiálně-axiální ložisko řady 72 [SKF] [40]



Obr. 46) Náskres rotující matice [SKF] [22]

Tab 12) Základní rozměry rotující matice SLT/ TLT [22]

Označení Průměr x Stoupání	Základní rozměry [mm]									
	Průměr pro upevnění řemenice	Průměr příruby	Kalibrovaný průměr tělesa matice	Celková délka matice	Šířka pro upevnění řemenice	Vzdálenost maznice od čela matice	Délka tělesa matice	Šířka příruby	Šířka kalibrované části tělesa matice	Závit pro maznici
	D1 h8	D4	D5 g6	L	L1	L3	L4	L8	L9	H3
SLT/TLT 25x20R	40	133	100	121,2	15	19,9	74	15	15	M6x1
SLT/TLT 25x25R	40	133	100	126,3	15	19,9	74	15	15	M6x1
SLT/TLT 32x20R	50	150	120	132,9	20	27,5	89	15	20	M6x1
SLT/TLT 32x32R	50	150	120	126,8	20	27,5	89	15	20	M6x1
SLT/TLT 32x40R	50	150	120	125,9	20	27,5	89	15	20	M6x1
SLT/TLT 40x20R	58	159	125	136,7	20	22,5	85	15	20	M8x1
SLT/TLT 40x40R	60	168	137	159,6	47	19	83	15	20	M8x1
SLT/TLT 50x50R	70	210	170	163,5	20	25,4	100	20	25	M8x1

Tab 13) Únosnosti prvků soustavy KŠM s rotující maticí [22]

Označení Průměr x Stoupání	Únosnosti [kN]					
	Matice SL		Matice TL		Ložisko	
	Dynamická	Statická	Dynamická	Statická	Dynamická	Statická
	Ca	C _{0a}	Ca	C _{0a}	Ca	C _{0a}
SLT/TLT 25x20R	39,2	97,0	21,6	48,5	61,8	56,0
SLT/TLT 25x25R	33,2	80,4	18,3	40,2	61,8	56,0
SLT/TLT 32x20R	49,6	141,8	27,3	70,9	78,0	76,5
SLT/TLT 32x32R	32,2	88,6	17,3	44,3	78,0	76,5
SLT/TLT 32x40R	25,3	67,0	13,9	33,5	78,0	76,5
SLT/TLT 40x20R	54,2	176,5	29,8	88,3	93,6	91,5
SLT/TLT 40x40R	51,7	130,5	28,5	65,3	114,0	118,0
SLT/TLT 50x50R	92,9	235,1	51,2	117,6	156,0	166,0

6.6.2 Řešení mazání rotující matice firmou SKF

SKF rozdělilo úlohu mazání do dvou oblastí. První oblastí je uložení matice, aneb vložená ložiska na vnějším průměru tělesa matice, která umožňují její rotaci. Tyto ložiska jsou spolehlivě utěsněna kroužky Nilos a naplněna trvalou tukovou náplní, jak již bylo zmíněno v předchozí podkapitole. Druhá část sestavy, která pro svou správnou funkci potřebuje být mazána je cirkulace kuliček uvnitř rotující matice. Přísun mazání je řešen maznicí, která je umístěna na vnějším průměru příruby (viz Obr. 46)). Přírubou dále vede mazací kanálek až k hřídeli kuličkového šroubu. Ve standartu se oblast maže průmyslovým tukem SKF LGMT2. Vzhledem k vlastnostem tukového maziva a způsobu zatížení se převážně volí domazávání ručním způsobem po uplynulém intervalu, který je předem vypočten vzhledem k zatěžujícím a okolním podmínkám, jak již bylo zmíněno několikrát [38].

Mazivo SKF LGMT2:

Průmyslový tuk na základě minerálních olejů a zhuštěný lithným mýdlem. Mazivo má skvělou tepelnou stabilitou v předepsaném rozmezí teplot. Vhodné pro mnoho průmyslových aplikací, jako například: ložiska do automobilových kol, dopravníky, malé elektrické motory, průmyslové ventilátory apod. [46]

Vlastnosti průmyslového tuku SKF LGMT2 [46]:

- Vynikající odolnost vůči oxidaci.
- Dobrá mechanická stabilita.
- Vynikající odolnost vůči vodě a ochrana vůči korozi.
- Provozní teplota od -30 do +120 °C.
- Viskozita při 40 °C – 110 mm²/s.
- Viskozita při 100 °C – 11 mm²/s.

7 ZHODNOCENÍ SITUACE NA TRHU

7.1 Druhy řešení mazání rotujících matic

I přes fakt, že drtivá většina použití KŠM je provedena ve variantě s rotujícím kuličkovým šroubem, je velice důležité věnovat se důkladně problematice rotující matice, protože právě tato pohybová konfigurace vyplňuje malou, ale důležitou část užití KŠM.

Mezi používanými řešeními mazání na trhu není žádná výrazná unifikace. Objevují se zde podobné konkurenční produkty, ale převážně se navzájem výrobce od výrobce liší. Může to být způsobeno právě tím, že společnosti navzájem neinvestují tolik úsilí do mazání rotujících matic, právě kvůli nízkému odbytu. V hodně případech je společnost schopna přizpůsobit svou konstrukci přímo požadavkům zákazníka a produkce rotujících matic sklouzává ke kusové výrobě, což autor práce shledává značně neefektivním.

7.2 Používaná maziva

Ve většině případů se používá průmyslový mazací tuk, který má základ v olejovém mazivu (minerální, nebo syntetický olej) se ztužovacím prvkem (lithium, baryum a jiné). Obecně se dá říct, že jsou použity maziva hodně podobná, nebo dokonce stejná, jako jsou použita v oblasti valivých ložisek. Korelace mezi mazivy z jednotlivých odvětví je zřejmá, protože způsob zatížení a princip práce je velice podobný.

Mazací tuk lze použít v automatické soustavě mazání komponent stroje, ale s podmínkou, že mazivo bude s natolik nízkou viskozitou, že jej bude možno jednoduše tlačit přes potrubí a že se jednoduše dostane do všech potřebných míst k mazání.

V případě méně sofistikovaných řešení se používá ruční doplňování maziva. V určitých situacích to není moc velká přítěž do výrobního procesu, protože podle způsobu užití tukového maziva jej lze doplňovat po dlouhých intervalech (např. po 200 až 600 hod práce; ve výjimečných případech jen jednou ročně).

Průměrné vlastnosti běžně užívaných maziv pro rotující matice:

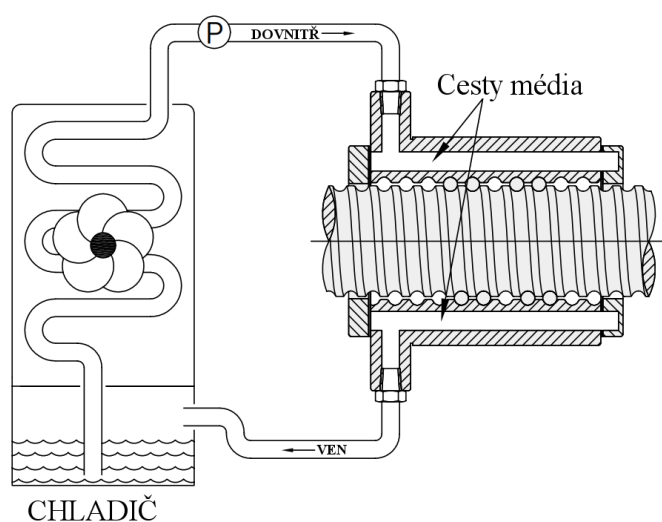
- Vyrobeno na základě minerálních, nebo syntetických olejů s příměsí zahušťovadla.
- Nižší viskozita: 20 až 140 mm²/s při 40 °C.
- Pracovní teploty od -30 do 130 °C.
- Dlouhodobá životnost.
- Odolnost proti vodě.
- Ochrana proti korozi.

7.3 Chlazení rotujících matic

Na začátku této kapitoly bude nejdříve ve stručnosti zmíněn princip chlazení stacionárních matic, pro lepší podvědomí o problematice chlazení obecně.

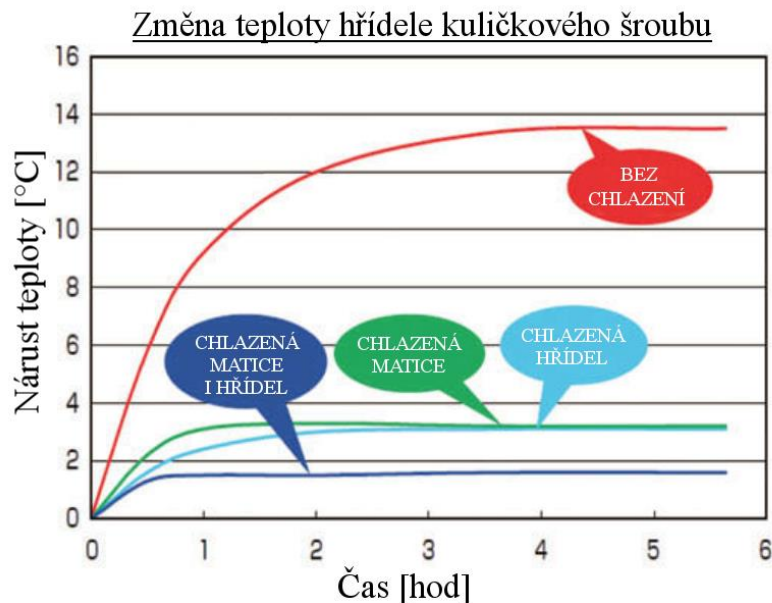
Chlazení nerotujících matic kuličkového šroubu

Chlazení stacionárních matic je již běžnou praxí. Výrobci převážně užívají systém axiálně orientovaných vrtaných děr tělem matice, kterými protéká chladicí médium. Jednotlivé díry jsou propojeny pomocí koncového víčka. Každý takový systém kanálků musí mít vstup i výstup, aby docházelo k cirkulaci média. Chladivo tímto systémem cirkuluje za pomoci čerpadla ve stroji, které vede chladicí médium zpět do zásobníku, kde se temperuje na požadovanou hodnotu teploty a poté jej opět tlačí do oběhu. Konstrukční princip lze vidět na Obr. 47).



Obr. 47) Princip chlazení kuličkové matice [HIWIN] [34]

Z experimentů společnosti NSK (viz Obr. 48)) vyplývá, že zvlášť chlazená matice a zvlášť chlazená hřídel vykazují přibližně stejné výsledky difference teplot při užívání na stroji. V každém z případů dochází k výraznému snížení provozní teploty. Ovšem nejlepší výsledky vykazuje kombinace chlazení matice i hřídele najednou. Společnost HIWIN i PMI přišla ke stejným výsledkům experimentu.



Obr. 48) Graf průběhu změn teploty na hřídeli kuličkového šroubu [NSK] [15]

Podmínky experimentu:

- Průměr šroubu – 50 mm
- Stoupání – 25 mm
- Chladivo – olej
- Průtok chladiva – 3 l/min

Chlazení rotujících matic kuličkového šroubu:

Dle rešeršní části diplomové práce a současné praxi je zřejmé, že žádný z výrobců kuličkových šroubů chlazenou rotující kuličkovou maticí nenabízí. Zde připadá prostor na úvahu, proč tomu tak je.

A) Chlazení chladicí emulzí

Zda bychom chtěli dosáhnout podobného principu chlazení u rotujících matic, jako je tomu u matic stacionárních, konstrukce by byla příliš složitá z důvodů mnoha pohyblivých částí. Nejsložitější komponenta by byla pro přechod chladiva ze stacionárního vnějšího kroužku na rotující těleso matice, aneb nějaký druh spojovací součásti. V těchto místech by velice snadno docházelo k prosakování chladiva vlivem dynamických sil a vzájemnému pohybu součástí sestavy. Zajisté by bylo uskutečnitelné zkonstruovat tento způsob řešení s plnou funkčností, avšak za cenu vysokých nákladů na výrobu.

Z výše uvedených experimentů lze jasně vidět, že kombinace chlazení matice i hřídele není o tolik moc efektivní, jako samotné chlazení hřídele. Navíc v aplikaci KŠM s rotující maticí je provedení chlazení hřídele kuličkového šroubu o to snazší, že kuličkový šroub je pevně, nepohyblivě ukotven. Je tedy zřejmé, že vyšší investice do chlazení rotující matice se nevyplátí. Smysl by to mělo pouze pro vysoce přesný stroj, kde by byl zákazník ochoten zaplatit zakázkovou výrobu takové matice.

B) Chlazení vzduchem

Jako další možnost chlazení rotující matice se nabízí chlazení vzduchem. Chlazení vzduchem nemusí být konstrukčně náročné, avšak vyvstávají zde jiné problémy:

- Chladicí vzduchová jednotka by zabírala prostor navíc kolem kuličkového šroubu.
- V různém spektru provozních podmínek a okolního prostředí hrozí kondenzace vzduchu, což může způsobovat problémy různého charakteru.

C) Chlazení mazivem

Další variantou chlazení, kterou se bude diplomová práce nadále ubírat, je chlazení za pomoci maziva temperovaného na předem určenou teplotu. K mazání rotující matice bude využit olej o nízké viskozitě, který bude hnán čerpadlem do pracovního prostoru KŠM. Zde se nabízí dvě možnosti zhotovení mazání a to:

- Mazání ztrátové
- Mazání v uzavřené cirkulaci

I v tomto případě vyvstává několik nevýhod. Množství dodávaného oleje bude nutno zjistit experimentálně, protože málo dodávaného maziva může nedostatečně ochlazovat soustavu a mnoho maziva může způsobit generování tepla. Společnost Steinmeyer například dodává 0,1 až 5 cm³ oleje za 1 hod. V našem případě by to bylo více, protože potřebujeme dosáhnout chladicího efektu a odtok maziva bude v nejnižší poloze, nebo blízko ní. Nejspíše bude potřeba zvláštní zajištění kuličkového šroubu před prvním spuštěním. Další nevýhodou může být zúžené spektrum použití, protože mechanické vlastnosti oleje nemusí vyhovovat všem aplikačním podmínkám rotující matice [47].

Naopak velkou výhodou je kompaktní a víceúčelové řešení.

8 NAVRHOVANÉ VARIANTY KONSTRUKCÍ

8.1 Požadavky

Výsledný návrh zhotovení mazání a chlazení u rotujících kuličkových matic společnosti KSK PM podléhá následujícím požadavkům a problémům, které vyplývají ze zadání diplomové práce a její rešeršní části.

Problémy a požadavky, kterým musí čelit konstrukční návrh mazání a chlazení rotující matice:

- Vhodné pro užití s dosavadní nabídkou společnosti KSK PM (ze zadání diplomové práce).
- Nutné chlazení i mazání.
- Provádět mazání při chodu stroje.
- Odstředivá síla od rotujícího tělesa kuličkové matice.
- Vzájemný pohyb součástí.
- Co nejmenší zástavbové prostory.
- Způsob provedení spojení s maticí.
- Umístění vstupu i výstupu mazacího média.

8.1.1 Co ovlivňuje konstrukční návrh dle zadání DP

Nejlepší odpovědí na zadání diplomové práce a požadavky kladené na konstrukční návrh je určitý druh mazací a chladicí přípojné jednotky (v textu také ve zkrácené formě – přípojná jednotka), jakou například lze vidět v rešeršní části od společnosti Steinmeyer (viz kapitola 6.5.2 strana 57). Přípojná jednotka bude nástavbou dosavadních rotujících matic společnosti KSK PM. I přes to bude potřeba drobný zásah do již používaných matic, a to formou úpravy konce matice, aby se daly součásti jednoduše spojit. V tomto případě jde o nejmenší možný zásah do hotové konstrukce rotujících matic, který bude plnit vytyčené cíle.

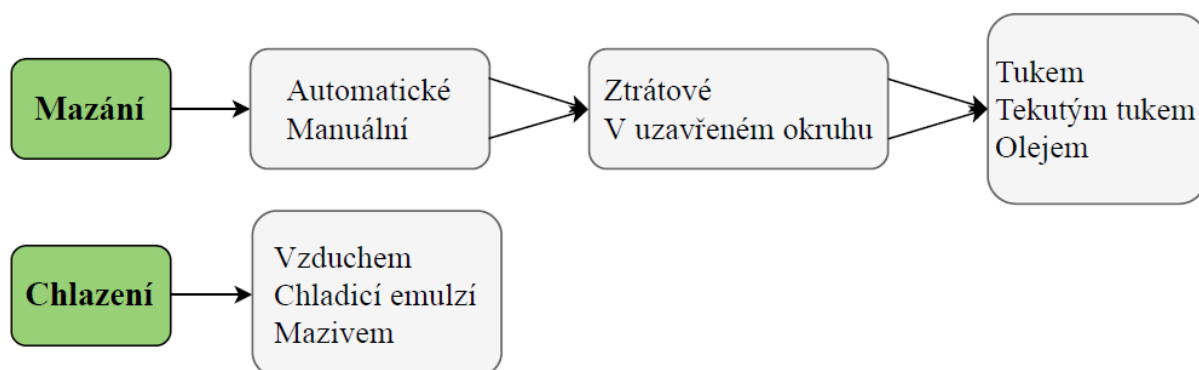
Diagram na Obr. 49) připomíná možnosti uskutečnění mazání a chlazení u KŠM (shrnuje z rešeršní části této práce). Kombinací principů z uvedeného diagramu lze dospět k několika realizovatelným řešením (viz Tab 14)), ze kterých se jako ideální varianta pro splnění podmínky současného chlazení i mazání nabízí varianta s číslem 16 a to konkrétně chlazení pomocí maziva s nízkou viskozitou, které bude temperováno na předem určenou teplotu (viz kapitola 0 C) strana 64). Mazivo bude do soustavy vháněno automaticky a cirkulovat v uzavřeném okruhu stejným principem, jako lze vidět na Obr. 47) na straně 64. Rozhodujícím faktorem výběru použité varianty chlazení a mazání je jednoduchost konstrukce, splnění zadání diplomové práce a důležitý faktor, cena řešení.

Mezi ztrátovým a okruhovým použitím maziva se autor rozhodl pro okruhové ze dvou důvodů:

- 1) Nižší kontaminace maziva.
- 2) Jednodušší aplikace do stroje => vyšší využitelnost.

Ad 1) Mazivo ze ztrátového mazání je rozstříkováno kolem součásti, na kterou je touto metodou aplikováno a jednodušeji se tak kontaminuje nečistotami z okolí pracovního prostoru.

Ad 2) Je jednodušší stroj vést o dvě potrubí více než celý stroj přizpůsobit na rozstříkované, nebo odkapávající mazivo.



Obr. 49) Diagram možností chlazení a mazání

Tab 14) Možné kombinace provedení chlazení a mazání

	Mazání	Chlazení
1.	tukem, automatické, ztrátové	vzduchem
2.	tukem, automatické, ztrátové	chladicí emulzí
3.	tukem, manuální, ztrátové	vzduchem
4.	tukem, manuální, ztrátové	chladicí emulzí
5.	tekutým tukem, automatické, ztrátové	vzduchem
6.	tekutým tukem, automatické, ztrátové	chladicí emulzí
7.	tekutým tukem, manuální, ztrátové	vzduchem
8.	tekutým tukem, manuální, ztrátové	chladicí emulzí
9.	tekutým tukem, automatické, v okruhu	vzduchem
10.	tekutým tukem, automatické, v okruhu	chladicí emulzí
11.	olejem, automatiké, ztrátové	vzduchem
12.	olejem, automatiké, ztrátové	chladicí emulzí
13.	olejem, automatiké, ztrátové	mazivem
14.	olejem, automatiké, v okruhu	vzduchem
15.	olejem, automatiké, v okruhu	chladicí emulzí
16.	olejem, automatiké, v okruhu	mazivem

Volba vhodného maziva a mazacího agregátu

Jako nejvhodnější médium k mazání a zároveň odvodu tepla se jeví mazivo s nízkou viskozitou, tudíž bude vybíráno mezi druhy průmyslových olejů. Aplikace rotující matice můžou být rozdílné a s tím i rozdílné požadavky na vlastnosti vybíraného oleje. Navrhované konstrukční řešení, ani mazací agregát nevylučuje používání různých druhů olejů. Jako vhodná varianta pro velké spektrum aplikací může být například průmyslový olej AFG Grease z portfolia společnosti THK.

Mazivo AFG – průmyslový olej [42]:

Mazivo AFG je vyrobeno na základě vysoce kvalitních syntetických olejů a zhuštěný průmyslovou močovinou (diamid kyseliny uhličitě – $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$). Jeho dominantní vlastností je nízká generace tepla při provozu a široká škála pracovních teplot.

Vlastnosti průmyslového tuku AFG [42]:

- Nízká generace tepla i při vysokorychlostních aplikacích.
- Široký rozsah teplot užívání – $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+160\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Viskozita $25\text{ mm}^2/\text{s}$ při $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Konstantní operační moment.
- Vysoká voděodolnost.
- Vysoká odolnost proti oxidaci.
- Dlouhé servisní intervaly.

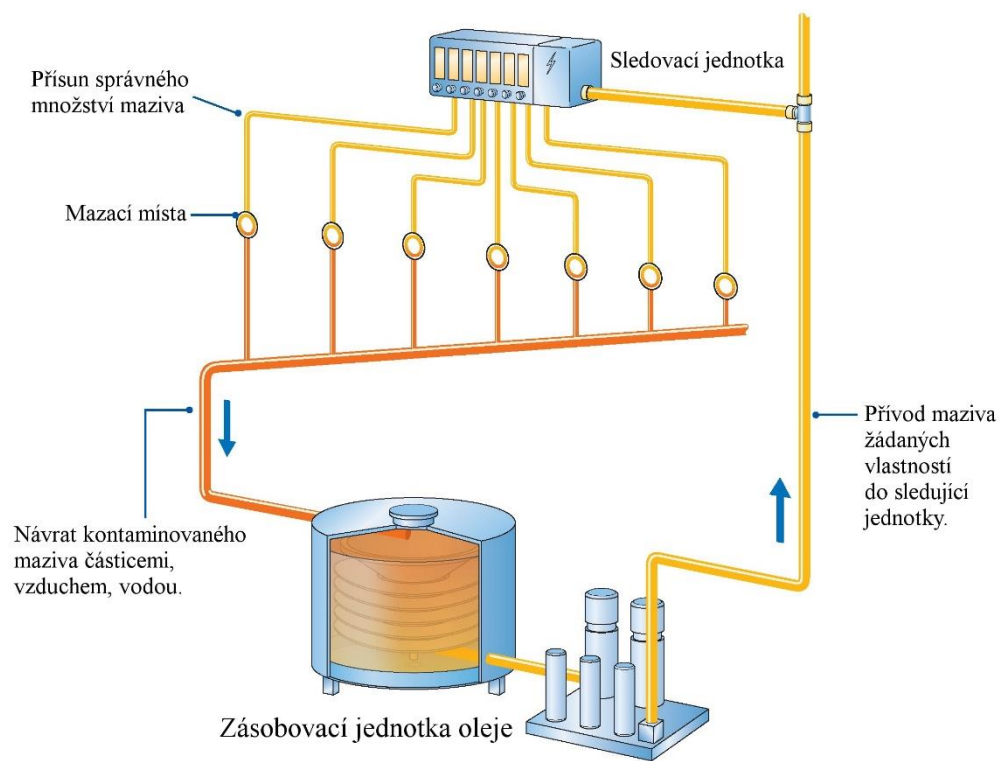
K cirkulaci oleje oběhovou soustavou je nutno použít agregát určen pro centrální mazací systémy. Avšak musí se zvolit typ, který je schopen ochladit mazivo na požadovanou hodnotu. Na trhu se objevuje více firem, které toto řešení nabízí. Jako příklad byl zvolen mazací systém s oběhem oleje od společnosti SKF.

SKF CircOil [48]:

Systém je vhodný pro aplikaci v oběhovém mazání, kde olej je aplikován do požadovaného místa a následně spět sveden do zásobníku agregátu. Systém oplývá více výhodami, než jen dopravení maziva na místo určení:

- Stabilizuje teplotu mazacích míst.
- Filtruje nečistoty v cirkulujícím mazivu.
- Zabraňuje korozi.
- Odlučuje vodní kondenzát.

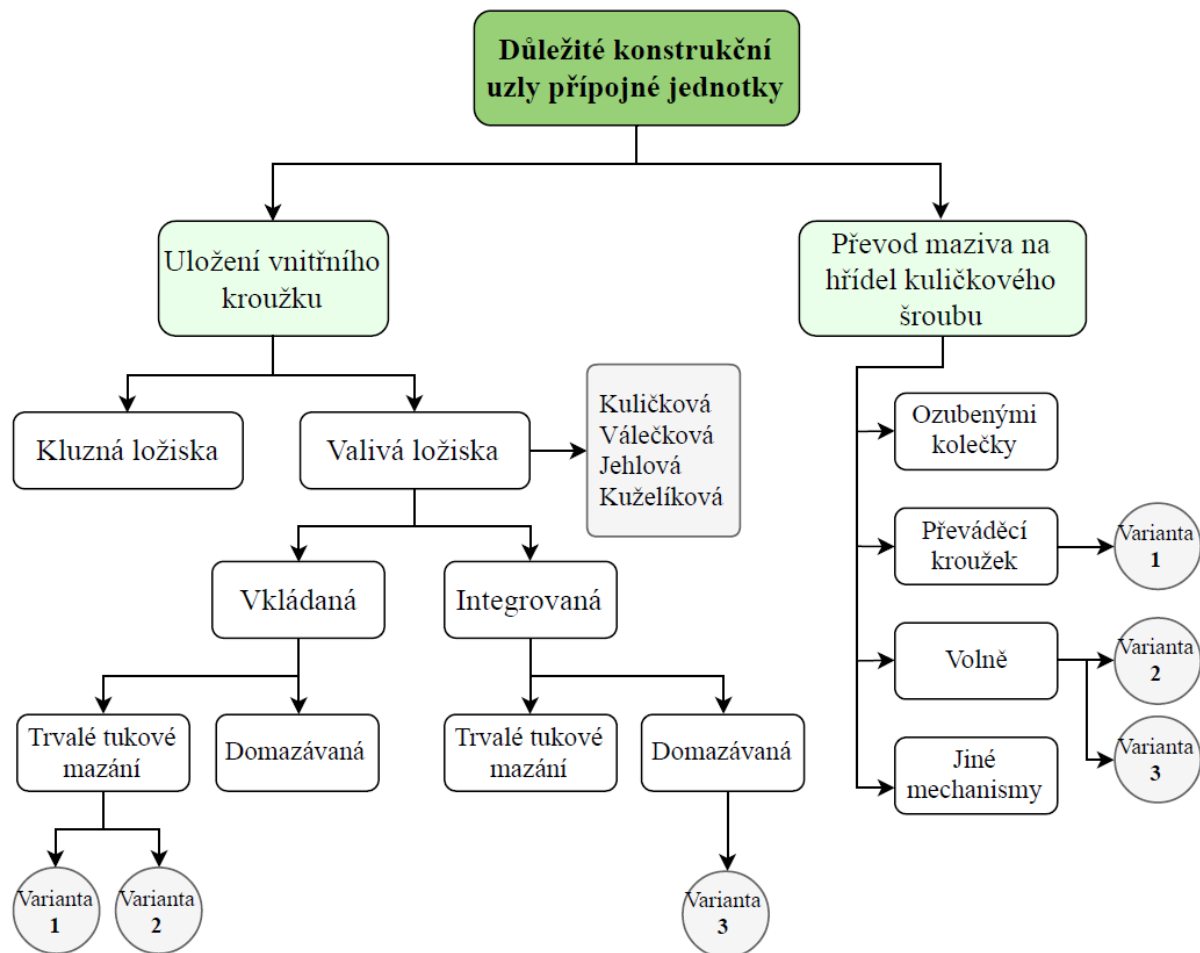
SKF CircOil lze aplikovat na širokou škálu použití. Dodávané množství oleje lze regulovat, sledovat a upravit velikost průtoku na míru od $0,1$ do 3000 l/min . Přizpůsobit lze i objem akumulární nádrže pro olej. Vizualizace principu oběhu maziva a konstrukce systému je na Obr. 50).



Obr. 50) Systém mazání SKF CircOil [SKF] [49]

Nejdůležitější konstrukční uzly

Během vytváření návrhů zhotovení přípojné jednotky vzešli dvě nejkritičtější místa konstrukce. Konkrétně se jednalo o určení správného výběru uložení vnitřního kroužku, který se otáčí a o spolehlivé převedení maziva z nerotující části jednotky (vnější kroužek) do pracovního prostoru KŠM s rotující maticí (hřídel kuličkového šroubu a cirkulace kuliček). Lepší představu o problematice řešení nabízí diagram na Obr. 51).

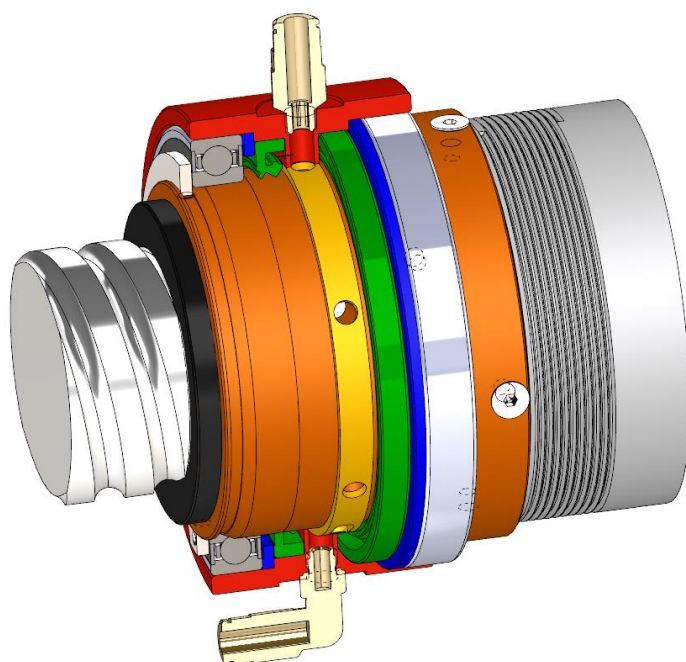


Obr. 51) Diagram kritických míst konstrukce přípojné jednotky

8.2 Varianty

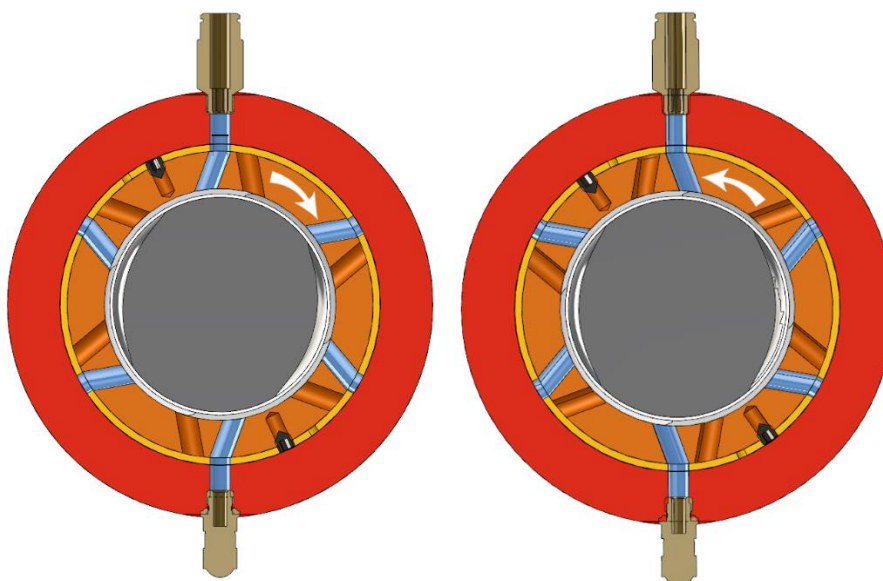
8.2.1 Varianta 1

Jak již bylo předestřeno, všechny následující varianty návrhu budou zkonstruovány jako přípojné jednotky, které se přišroubují na konec rotující matice a plní funkci převaděče maziva z nerotující části stroje (rám, support, stůl, konzola...) přes rotující část (vnitřní kroužek mazací jednotky) až na nerotující hřídel kuličkového šroubu. Konec matice je v následujících náhledech oříznut, aby plnil pouze informativní podstatu spojování součástí.



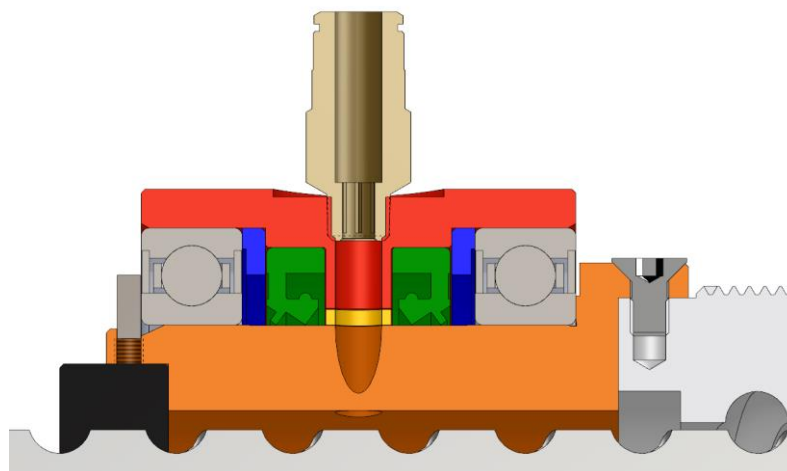
Obr. 52) Částečný řez variantou 1

Hlavní části varianty 1 (viz Obr. 52)) jsou vnitřní kroužek (oranžová součást), převaděcí kroužek (žlutá součást) a vnější kroužek (červená součást). Mazivo je vedeno centrálním mazacím systémem do horní spojky (součást mosazné barvy), která se zašroubuje do vnějšího kroužku. Ten je nepohyblivě spojen s uložením ve stroji a vede mazivo dále k převaděcímu kroužku. Rotace vnitřního kroužku posune převaděcí kroužek pomocí stavěcího šroubu (černá součást na Obr. 53)) tak, aby zpřístupnil sadu otvorů, které svým sklonem v kombinaci se směrem rotace vnitřního kroužku ulehčují proudění maziva do prostoru hřídele kuličkového šroubu. Uvedený princip je znázorněn na Obr. 53), kde světle modrá barva znázorňuje cestu maziva a bílá šipka směr rotace. Následný pohyb matice po šroubu roznáší aplikované mazivo do prostoru cirkulace kuliček. Přebytečné mazivo odtéká zpět přes vnitřní kroužek do chladicího agregátu otvorem, který je na opačné straně od vstupu maziva ve vnějším kroužku.



Obr. 53) Čelní řezy variantou 1 s ukázkou cest maziva

Z podstaty věci je zřejmé, že je nutné otočné uložení mezi vnitřním a vnějším kroužkem. V případě varianty 1 je uložení realizováno vloženými kuličkovými ložisky, která jsou vymezena mezi vnějším pojistným kroužkem a hřbetem příruby vnitřního kroužku. K správnému vystředění napomáhají distanční kroužky (modré součásti na Obr. 54)), které se dle potřeby zbrousí na vyhovující požadovanou šířku.

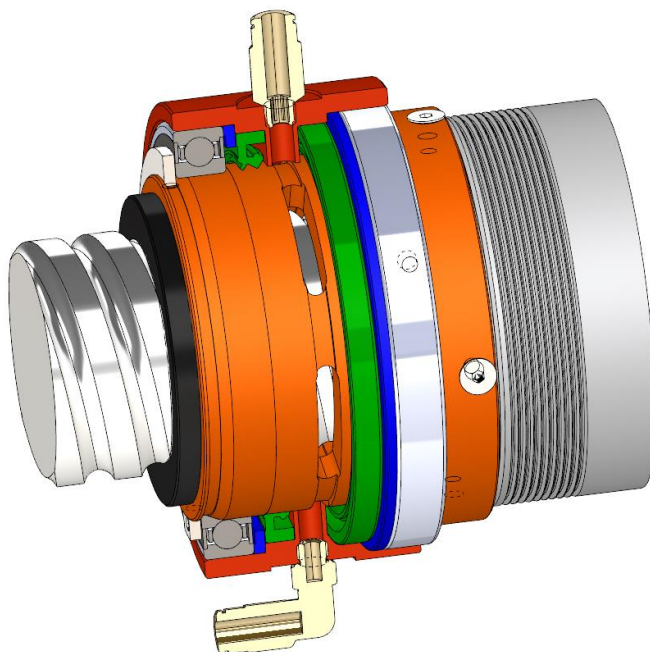


Obr. 54) Princip uložení vnějšího kroužku varianty 1

Celá sestava musí být dobře utěsněna proti vniku nečistotám z okolí, a hlavně pro udržení maziva uvnitř KŠM. První úsek, který se musí utěsnit je přechod mezi vnějším a vnitřním kroužkem. Zde je aplikován pár hřídelových těsnění (tzv. gufera), jenž plní těsnící funkci při rotaci součástí. Druhým úsekem je pracovní prostor matice, který je utěsněn plastovou ucpávkou (černá součást na Obr. 54)). Ucpávka je vyrobená z polyamidu s negativním profilem závitu. Vlastnosti tohoto plastového materiálu spolu s tvarem ucpávky spolehlivě utěsní pracovní prostor KŠM.

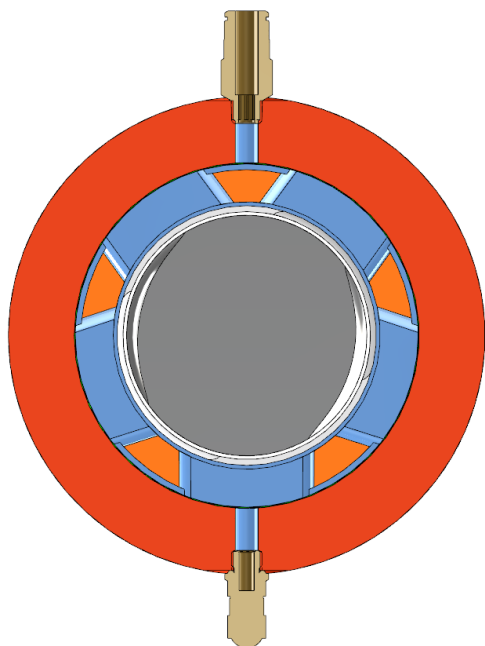
8.2.2 Varianta 2

Varianta 2 je téměř totožná jako varianta 1, s tím rozdílem, že je zvolen jednodušší přechod maziva mezi vnějším (červená součást) a vnitřním kroužkem (oranžová součást). Zde již nefiguruje převáděcí kroužek, jak lze vidět na Obr. 55). Vnější kroužek vede mazivo přímo k vnitřnímu kroužku. V něm jsou radiálně vyfrézovány, co největší možné průběžné radiální drážky, aby mělo mazivo co nejvíce prostoru dostat se přímo na hřídel kulčkového šroubu. Zakončení drážek je pod úhlem, aby působením odstředivých sil rotujícího vnitřního kroužku mělo mazivo větší odpor vůči odstříku. Průchod maziva (na obrázku znázorněno světle modrou barvou) přípojnou jednotkou a tvar průběžných drážek je na Obr. 56).

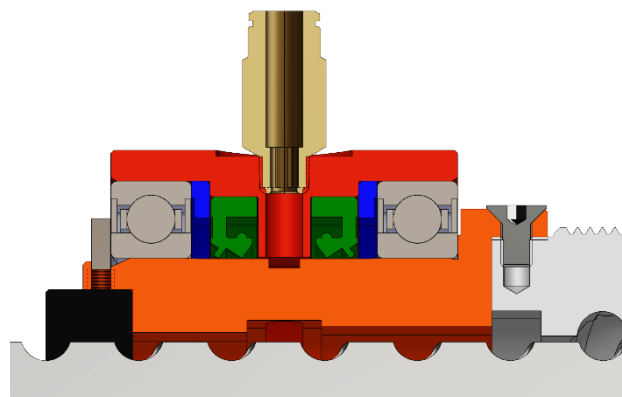


Obr. 55) Částečný řez variantou 2

Mezi oběma kroužky je pouze malá mezera, a to opět pro co nejjednodušší průchod maziva na hřídel kulčkového šroubu. Během rotace vnitřního kroužku je vstup maziva téměř uzavřen přechody mezi průběžnými radiálními drážkami. Z toho důvodu je na obvodu vnitřního kroužku vytvořena odlehčující drážka, která mazivu ulehčuje průtok během přechodu mezi drážkami (viz Obr. 55) a Obr. 57)). Podobná drážka se nachází i na vnitřním průměru vnitřního kroužku. Ta slouží pro sběr a lepší odvod maziva v dolní části (viz Obr. 57)).



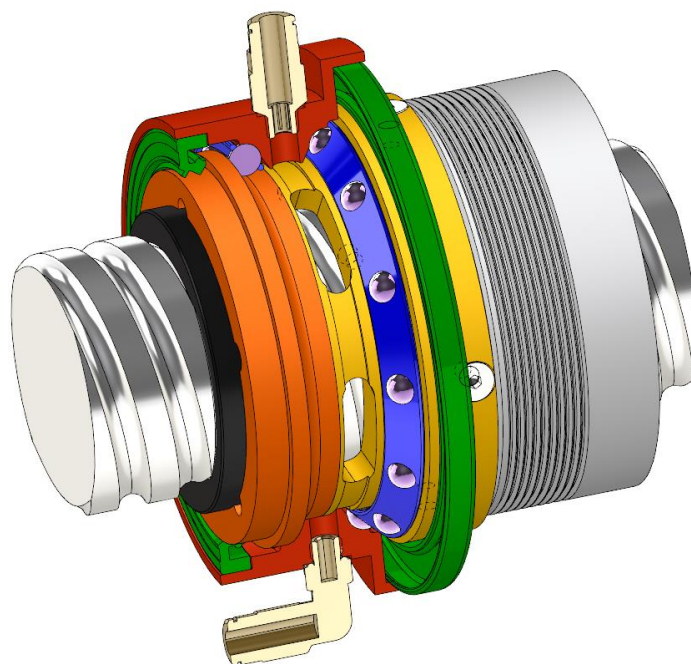
Obr. 56) Čelní řez variantou 2
s ukázkou cesty maziva



Obr. 57) Princip uložení vnějšího
kroužku varianty 2

8.2.3 Varianta 3

V případě varianty 3 je největší konstrukční rozdíl v uložení vnějšího kroužku. U této varianty konstrukce je použito dvojice axiálně radiálních integrovaných ložisek seřazených do „O“. Ty umožňují vyšší kompaktnost mazací jednotky, avšak musí se vyřešit jejich montáž a uložení. Princip průchodu maziva je totožný jako u varianty 2. Celková konstrukce je vyobrazena v částečném řezu na Obr. 58).

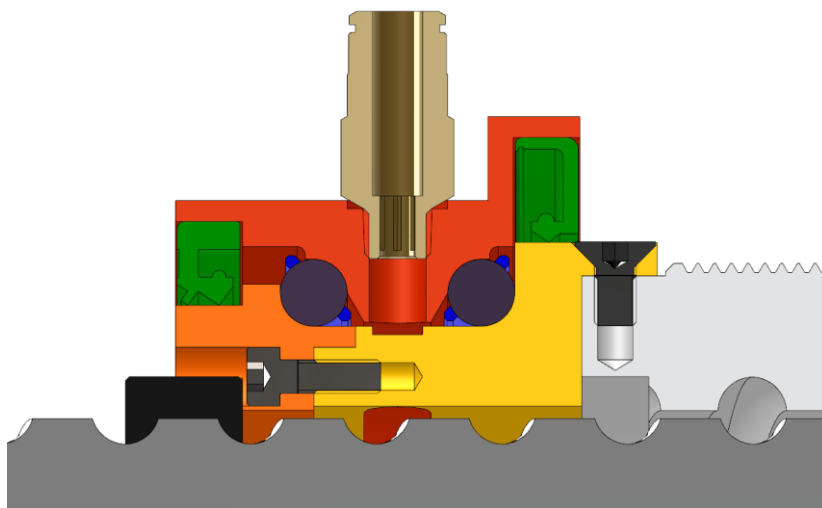


Obr. 58) Částečný řez variantou 3

Vnější kroužek (červená součást) má na svém vnitřním průměru rádiusové dráhy, ve kterých následně chodí valivé elementy integrovaného ložiska. Vnější kroužek má nově osazení, aby bylo možno mazací jednotku dobře utěsnit jedním z nabízených typorozměrů hřídelových těsnění. Z důvodu jednodušší montáže integrovaných ložisek byl vnitřní kroužek rozdělen na dvě poloviny (viz Obr. 59)).

Levá část (oranžová součást) plní funkci vnitřního kroužku integrovaného ložiska. Dále také nese ucpávku kuličkového šroubu a levé hřídelové těsnění, které celou sestavu chrání proti úniku maziva.

Pravá část (žlutá součást) v sobě obsahuje totožné průběžné radiální drážky, jaké byly použity u varianty 2. Taktéž plní funkci vnitřního kroužku pro integrované ložisko a nese hřídelové těsnění, jako je tomu u levé části vnitřního kroužku (viz Obr. 58)). Poslední důležitou částí je příruba, pomocí které se mazací jednotka namontuje na konec rotující matice šroubovým spojem.



Obr. 59) Princip uložení vnějšího kroužku varianty 3

Rozdělení vnitřního kroužku na dvě části s sebou nese dvě velké výhody. Výrazně se zjednoduší montáž tím, že sestavená integrovaná ložiska se pouze nasunou na části vnitřního kroužku a druhou výhodou je snadné dosažení předpětí, které bude vyvoláno dotažením šroubových spojů v kombinaci se správně nabroušeným osazením levé části vnitřního kroužku (oranžová součást, Obr. 59)). Pro spojení dvou zmiňovaných součástí je použito pět šroubů, které vedou vždy do prostoru mezi průběžnými radiálními drážkami.

8.3 Vícekriteriální metody výběru

Jedná se o účinný nástroj, který pomáhá vybrat tu správnou variantu řešení podle vícero kritérií. Téměř vždy se při výběru jednoho z více navrhovaných řešení vyskytuje více kritérií, dle kterých se musíme rozhodovat a které se musí správně definovat a použít. Vícekriteriální výběr pracuje s maticí kritérií a variant, kde hodnocení jednotlivých variant je ještě ovlivněno váhou jednotlivých kritérií. To znamená, že kritéria nemusí být stejně významná pro naše rozhodování. Dalším důležitým aspektem pro uskutečnění rozhodnutí je, že musí být konečný počet kritérií, nejlépe však mezi 5 až 10 [50].

8.3.1 Kritéria

Jsou to podmínky, podle kterých jsou hodnoceny jednotlivé varianty řešení. Při aplikaci vícekriteriálních metod by měla být kritéria kvantitativní, aneb možnost jejich číselného vyjádření (např. hmotnost v kilogramech, čas v sekundách, ...). Je to kvůli lepší prezentaci výsledků a jednoduššímu rozhodování. Zda-li není možno kritérium kvantifikovat, musí se vytvořit slovní ohodnocení, která jsou následně vyčíslena [50].

Rozdělení kritérií dle povahy [50]:

- **Maximalizační** – Největší hodnota vyhovuje nejvíce (tuhost, účinnost, produktivita, ...).
- **Minimalizační** – Nejmenší hodnota vyhovuje nejvíce (cena, čas výroby, hmotnost, ...).

Před samotným hodnocením je vhodné všechny kritéria převést na stejný typ. Například při převodu minimalizačního kritéria na maximalizační se vezme nejvyšší hodnota, která byla dosažena u některé z variant a tato hodnota se následně odečte od všech hodnocení variant toho kritéria.

Rozdělení kritérií dle kvantifikovatelnosti [50]:

- **Kvantitativní** – kritéria lze vyčíslit (např. účinnost v procentech, produktivita v kusech za hodinu, hmotnost v kilogramech, ...).
- **Kvalitativní** – kritéria nelze vyčíslit (např. design, obtížnost, funkčnost, ...).

Preference kritérií [50]:

Pro lepší vyhodnocení je důležité určit, které z kritérií má pro naši aplikaci větší význam. Může se tak dít vícero způsoby:

- **Aspirační úrovní** – Kritérium se musí dostat nad, nebo pod požadovanou hranici (např. hmotnost méně než 5 Kg).
- **Pořadím kritérií** – kritéria se seřadí od nejdůležitějšího po nejméně důležité.
- **Váhami kritérií** – Každému z kritérií je udělena váha jeho významnosti z intervalu $<0,1>$.
- **Kompensací kriteriálních hodnot** – velikost doplňování kritérií navzájem.

8.3.2 Metody stanovení vah

V této diplomové práci se autor rozhodl vytvářet kritéria s předem uvedenými podmínkami a váhovým rozdělením. Existují následující metody určení vah [50]:

- Totožné váhy pro všechna kritéria – není známa důležitost kritérií.
- Metoda pořadí – seřazení kritérií od nejvýznamnějšího.
- Fullerova metoda – porovnávací princip určení vah.
- Bodovací metoda – rozdělení určitého počtu bodů mezi kritéria.
- Matfesselova alokace – bodovací metoda s rozpětím 100 bodů.
- Saatyho metoda – slovní hodnocení preference mezi dvěma kritérii, která jsou následně vyčíslena.
- Metoda postupného rozvrhu dat – metoda aplikovaná pro použití s více kritérii.

Matfesselova alokace

Jako nejvhodnější metodu pro určení vah vybral autor práce Matfesselovu alokaci, která rozděluje 100 bodů mezi jednotlivá kritéria. Pozorovatel musí znát kardinální rozdělení jednotlivých kritérií, což znamená, že musí vědět, jak pořadí kritérií vzhledem k jejich důležitosti, tak i jejich roztupy v důležitosti. Tato podmínka je splněna díky rozsáhle řešební části této diplomové práce [50].

Váha ovšem nemůže zůstat vyčíslena počtem bodů, ale musí spadat do dříve zmíněného intervalu $\langle 0,1 \rangle$. Je zde tedy za potřebí váhu normovat, a to následujícím jednoduchým vzorcem.

$$w_i = \frac{b_i}{b_c}; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Kde je váha w_i jednoduše normována podílem počtem přidělených bodů b_i kritériu a celkovému počtu bodů b_c , který je u Matfesselovy alokace 100.

8.3.3 Metody určení nejlepší varianty

Další z důležitých aspektů pro správnou aplikaci vícekritériálního výběru řešení je zvolení správné metody výběru nejvhodnější varianty. Existuje více metod (viz níže), kde každá z nich má svá určitá specifika pro výběr. Jednotlivé metody nemusí vyhovovat pro určitý jeden typ rozhodování, a tudíž se musí vybírat dle aplikace [50].

Metoda [50]:

- Konjunktivní a disjunktivní.
- PRIAM.
- Pořadí.
- Lexikografická.
- Bodovací.
- Váženého součtu.
- Bazické varianty.
- AHP.
- TOPSIS.
- ELECTRE I.

Metoda bodovací:

Jako nejvhodnější metodu pro určení ideální varianty pro naši aplikaci vybral autor práce metodu bodovací. Princip spočívá v určení pevné bodovací stupnice a následnému přiřazení odpovídajícímu počtu bodů variantám v jednotlivých kritériích. Následně se hodnoty ze všech kritérií sečtou pro jednotlivé varianty. V našem případě jsou přiřazené body navíc ovlivněny váhami pro jednotlivá kritéria. Vyhrává varianta s největším váhovým součtem bodů. Příklad takové metody je v Tab 15) [50]

Tab 15) Způsob použití výběru pomocí bodovací metody

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Váha
Kritérium 1	1	2	3	0,5
Kritérium 2	2	3	1	0,2
Kritérium 3	3	2	1	0,15
Kritérium 4	1	2	3	0,06
Kritérium 5	3	2	1	0,05
Kritérium 6	1	3	2	0,04
Součet	11	14	11	1
Váhový součet	1,6	2,24	2,16	

Doporučuje se rozdělit kritéria hodnocení do intervalů. Počet intervalů je totožný, jako je rozpětí bodovací stupnice (příklad rozdělení kritérií je v Tab 16)). Čím větší je rozpětí bodovací stupnice, tím přesnější bude vyhodnocení. Určení intervalů nám také zjednoduší rozhodování a jasně ohraničí prisuzování bodů [50].

Tab 16) Příklad rozdělení kritérií do posuzovacích intervalů

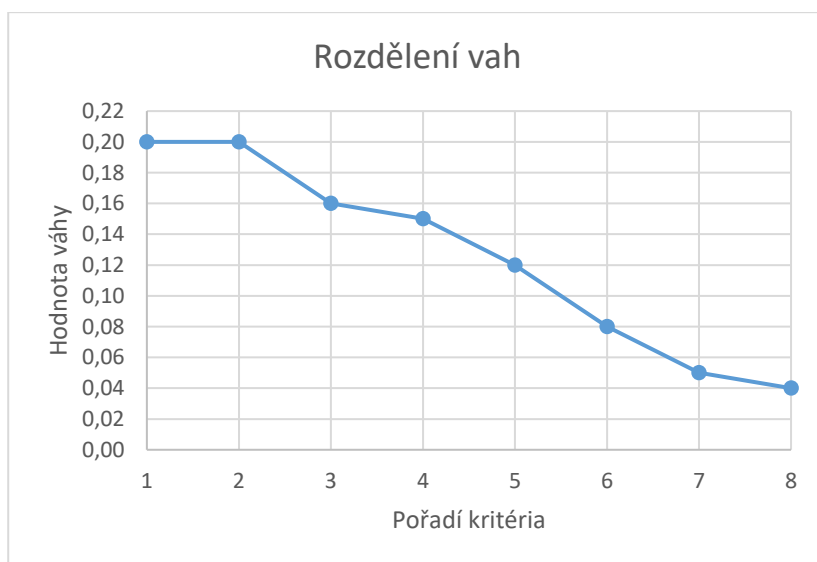
	Kritérium 1	Kritérium 2	Kritérium 3	Kritérium 4	Kritérium 5	Kritérium 6
Body	Hmotnost [kg]	Teplota [°C]	Účinnost [%]	Vodivost [-]	Náklady [kč]	Délka [mm]
1	(0, 15>	<60, 80>	(50, 65>	vysoká	do 20 000	<850, 1000>
2	(15, 35>	<40, 60)	(65,80>	malá	do 15 000	<700, 850)
3	(35, ...)	40 a méně	80,100>	žádná	do 13 000	700 a méně

8.4 Výběr nejvhodnější varianty

Postup finálního výběru jedné z nabízených variant konstrukčního řešení mazání a chlazení rotující matice bude totožný jako byl popsán v kapitole 0. Prvním krokem je tedy určení vhodných kritérií pro naši aplikaci. Jejich výčet a uspořádání je v Tab 17). Ve zmíněné tabulce jsou kritéria bodově ohodnocena podle Matfesselovy alokace a následně jsou jim přiřazeny váhy, pro jejichž určení byl použit vzorec (3) na straně 78. Distribuci vah jednotlivým kritériím lépe graficky znázorňuje graf na Obr. 60).

Tab 17) Kritéria hodnocení a jejich váhy

Pořadí kritéria	Kritérium	Bodové hodnocení dle Matfesselovy alokace	Váha kritéria
1	Průměr	20	0,2
2	Délka	20	0,2
3	Moment setrvačnosti	16	0,16
4	Odhadovaná cena	15	0,15
5	Obtížnost výroby	12	0,12
6	Hmotnost	8	0,08
7	Počet dílů	5	0,05
8	Obtížnost montáže	4	0,04
Součet		100	1



Obr. 60) Graf rozvrhnutí hodnot vah jednotlivých kritérií

Zdůvodnění volby a uspořádání kritérií:

- **1, 2** – Zástavbové rozměry jsou velice důležité s ohledem no rozpětí použití. Čím menší budou zástavbové prostory sestavy, tím větší bude uplatnění mazací a chladicí jednotky.
- **3** – Moment setrvačnosti ovlivňuje potřebný výkon pro pohon sestavy, a tudíž i výběr motoru pohonu.
- **4** – Z pohledu zákazníků je velice často cena produktu rozhodující faktor pro jeho koupi.
- **5** – Obtížnost výroby vyjadřuje míru zahlcení technologického parku, aneb zatěžuje chod výroby ve společnosti a zvedá cenu produktu.
- **6** – Hmotnost může negativně ovlivnit uložení celé sestavy rotující kuličkové matice.
- **7** – V mechanice platí jednoduché pravidlo, které říká, čím méně dílů, tím menší pravděpodobnost poruchy.
- **8** – Příliš dlouhá montáž navyšuje cenu výrobku.

Lze si povšimnout, že všechna kritéria jsou minimalizačního charakteru (čím menší, tím lepší) a tudíž rozdělení intervalů pro hodnocení musí být uspořádáno tak, aby nejmenší hodnotě byl přiřazen největší počet bodů. V našem případě byla použita stupnice od 1 do 5 bodů. Šíře tohoto rozpětí dostatečně charakterizuje kvality jednotlivých řešení. Ohraničení hodnotících intervalů pro jednotlivá kritéria jsou v Tab 18) .

Tab 18) Ohraničení kritérií pro bodové hodnocení

	Průměr [mm]	Délka [mm]	Moment setrvačnosti [kg/mm ²]	Odhadovaná cena [kč]	Obtížnost výroby [-]	Hmotnost [kg]	Počet dílů [ks]	Obtížnost montáže [min]
Body	Největší průměr sestavy	Nejširší místo sestavy	Započítány pouze rotující části sestavy	Teoretický odhad dle komplexnosti vyráběných dílů	Celkový počet potřebných strojů	Celková hmotnost sestavy	Celkový počet dílů v sestavě	Odhadovaná doba montáže
1	<150, ...)	<80, ...)	<6000, ...)	<35 000, ...)	<15, ...)	<5, ...)	<20, ...)	<40, ...)
2	<140, 150)	<70, 80)	<4500, 6000)	<28 000, 35 000)	<12, 15)	<4, 5)	<18, 20)	<30, 40)
3	<130, 140)	<60, 70)	<3000, 4500)	<21 000, 28 000)	<10, 12)	<3, 4)	<16, 18)	<22, 30)
4	<120, 130)	<50, 60)	<2000, 3000)	<15 000, 21 000)	<8, 10)	<2, 3)	<14, 16)	<15, 22)
5	(..., 120)	(..., 50)	(..., 2000)	(..., 15 000)	(..., 8)	(..., 2)	(..., 14)	(..., 15)

Následně byly jednotlivé varianty vyhodnoceny dle kritérií. Hodnoty objevující se v 0pochází z přílohy [Příloha F1]. K jasné definovaným výsledkům lze poté jednoduše přiřadit body z Tab 18) podle toho, do kterého intervalu spadají. Získané body jsou použity pro finální vyhodnocení v Tab 20) , kde se sečtou pro jednotlivé varianty.

Tab 19) Výsledné hodnoty nabízených variant vzhledem ke kritériím

SOUHRN								
	Průměr	Délka	Moment setrvačnosti	Odhadovaná cena	Obtížnost výroby	Hmotnost	Počet dílů	Obtížnost montáže
	[mm]	[mm]	[kg/mm ²]	[kč]	[-]	[kg]	[ks]	[min]
	Největší průměr sestavy	Nejširší místo sestavy	Započítány pouze rotující části sestavy	Teoretický odhad dle komplexnosti vyráběných dílů	Celkový počet potřebných strojů	Celková hmotnost sestavy	Celkový počet dílů v sestavě	Odhadovaná doba montáže
Varianta 1	125	75	4472	19375	11	3,497	19	33
Varianta 2	125	75	4344	18315	9	3,453	16	26
Varianta 3	135	58	2136	21313	12	2,313	43	30

Tab 20) Výsledný výběr nejvhodnější varianty

Hodnotící kritéria	Varianta 1		Varianta 2		Varianta 3		Váhy
	Body	Body zatížené váhou	Body	Body zatížené váhou	Body	Body zatížené váhou	
Průměr	4	0,8	4	0,8	3	0,6	0,20
Délka	2	0,4	2	0,4	4	0,8	0,20
Moment setrvačnosti	3	0,48	3	0,48	4	0,64	0,16
Odhadovaná cena	4	0,6	4	0,6	3	0,45	0,15
Obtížnost výroby	3	0,36	4	0,48	2	0,24	0,12
Hmotnost	3	0,24	3	0,24	4	0,32	0,08
Počet dílů	2	0,1	3	0,15	1	0,05	0,05
Obtížnost montáže	2	0,08	3	0,12	2	0,08	0,04
Součet	23		26		23		1,00
Váhový součet	3,06		3,27		3,18		

Nejvhodnější variantou mazání a chlazení pro naši aplikaci se dle použití vícekritériálního vyhodnocení stává **varianta 2**.

9 KONSTRUKČNÍ A VÝPOČTOVÉ ZPRACOVÁNÍ VARIANTY 2

9.1 Konstrukce a výpočty přípojné jednotky

Z výsledků vícekritériálního hodnocení vzešlo, že nejvhodnější varianta pro naši aplikaci je varianta číslo 2. Následující kapitola bude blíže specifikovat konstrukci vítězné řešení mazací a chladicí přípojné jednotky pro kuličkový šroub s průměrem 63 mm a stoupáním 30 mm. Celkový pohled na hotovou realizaci je na Obr. 61).



Obr. 61) Realistický pohled na přípojnou jednotku

Celá sestava se skládá z 16 součástí jejichž výčet je v Tab 21) **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Ve zmíněné tabulce je i určeno, zda se díl bude vyrábět, nebo nakupovat. Následující podkapitoly jsou věnovány důkladnému popisu konstrukce, funkce a vlastností důležitých prvků sestavy.

Tab 21) Výčet součástí sestavy přípojné jednotky

Název	Počet kusů	Vyrobeno/ Nakoupeno
Vnitřní kroužek	1	Vyrobeno
Vnější kroužek	1	Vyrobeno
Distanční kroužek	2	Vyrobeno
Ucpávka	1	Vyrobeno
Ložisko	2	Nakoupeno
Hřídelové těsnění	2	Nakoupeno
Pojistný kroužek	1	Nakoupeno
Šroub zápusťný - M5x10	4	Nakoupeno
Šroub stavěcí s čípkem - M3x4	2	Nakoupeno
Součet	16	

9.1.1 Vnitřní kroužek

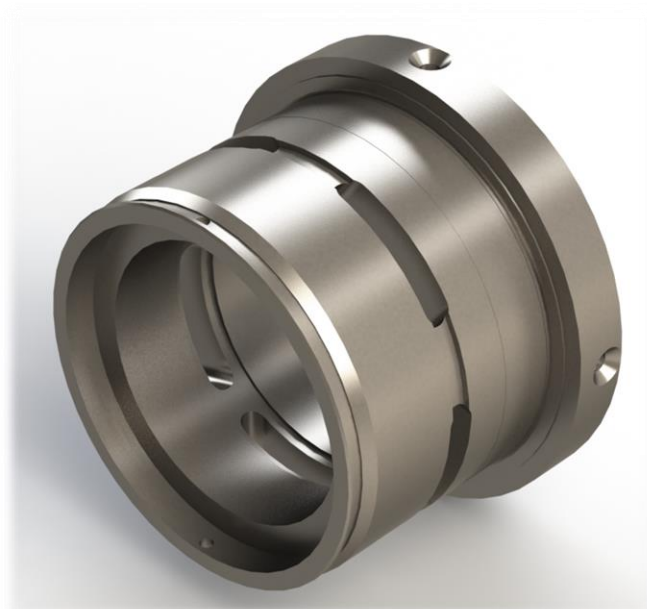
Základním kamenem celé sestavy je právě vnitřní kroužek. Ten plní funkci připojení celé mazací a chladicí jednotky k matici a nese na sobě všechny komponenty sestavy. V tomto konstrukčním provedení je také důležité, aby co nejméně bránil průchodu maziva z vnějšího kroužku na hřídel kuličkového šroubu. K tomu slouží 5 průběžných radiálních drážek, které se nachází v půli vnitřního kroužku. Drážky mají šířku 6,5 mm, délku 36 mm a úhlové rozpětí na vnějším průměru 47,2 °. Jednoduše lze dopočítat kolik procent obvodu zabírá drážka (viz výpočet níže (4)). Dopočet do sta bude vyjadřovat procentuální zastoupení plného materiálu. Stěny drážek nesměřují do středu, ale jsou vykloněny, aby kladly odpor proti odstříkujícímu mazivu. Zároveň jsou navrženy rovnoběžně s osou drážky, což značně usnadňuje výrobu, která může být uskutečněna normální zapichovacím způsobem bez potřeby víceosého stroje (viz Obr. 56) na straně 75 a [Příloha A2] řez A-A).

Pro odlehčení vtoku maziva, když se vstup maziva vnějšího kroužku při rotaci sestavy nachází nad přechodem mezi průběžnými radiálními drážkami, slouží drážka na vnějším obvodu vnitřního kroužku. Pro lepší pochopení popisu součásti slouží izometrický pohled na Obr. 62). Naopak pro jednodušší odtok přebytečného maziva slouží obvodová drážka na vnitřním průměru, která je osově symetrická s drážkami průběžnými. Díky zvětšení obvodu drážkou se na vnitřní části kroužku vytvoří nejnižší místo, jehož plocha slouží jako kolektor maziva.

$$o_v = \frac{\alpha_{rd} * n_{rd}}{360} * 100 [\%] \quad (4)$$

$$o_v = \frac{47,2 * 5}{360} * 100$$

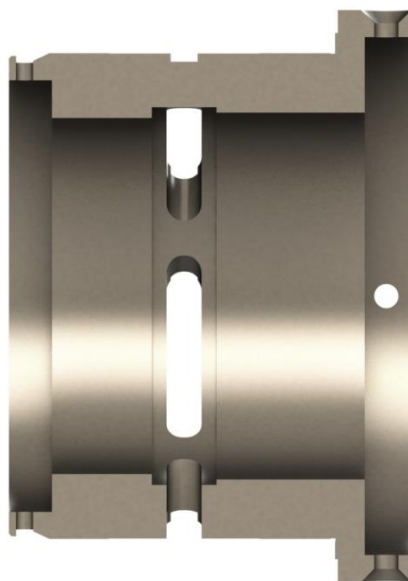
$$o_v = 65,56 \%$$



Obr. 62) Izometrický pohled na vnitřní kroužek

Na druhém konci od příruby přípojné jednotky je drážka pro pojistnou podložku, která zajišťuje díly vkládané na vnější průměr vnitřního kroužku. Drážka se nachází v levé části na Obr. 63). Vzhledem k tomu, že k rotačnímu uložení vnějšího kroužku budou použita obyčejná jednořadá ložiska bez schopnosti zadržet axiální zatížení, nemusí se soustava předepínat. Díly (dvě ložiska, dva distanční kroužky, vnější kroužek) jsou pouze zajištěny mezi osazením na hřbetu příruby a pojistným kroužek. Výrobci hřídelových těsnění ve svých návodech k montáži požadují sražení náběžných hran, přes které se bude hřídelové těsnění vkládat, proto je zadní čelo vnitřního kroužku a pravá strana drážky pro pojistný kroužek sražena. Kdyby tomu tak nebylo, mohlo by se hřídelové těsnění během montáže poškodit a následně neplnit svou funkci.

V drážce pro pojistný kroužek se nachází dvě průchozí závitové díry. V těch bude použit stavěcí šroub M3x4, který zajišťuje ucpávku kuličkového šroubu proti pootočení a posunutí. Důmyslné spojení dvou konstrukčních prvků v jednom místě je z důvodu úspory celkové délky sestavy.



Obr. 63) Řez středem vnitřního kroužku v nárysovém pohledu

Připojení sestavy k matici je konstrukčně zpracováno přírubou s vnitřní kapsou (viz Obr. 63)), která pracuje s koncem matice v systému jednotné díry. Na vnitřní průměr příruby je kladen zvýšený důraz na geometrickou přesnost, aby nedošlo ke vzniku nežádoucích vibrací vlivem špatné souososti spojených součástí. Samotné spojení poté zprostředkovávají 4 zápusťné šrouby M4x8 s vnitřním šestihranem. Správnost volby šroubů je ověřena koeficientem bezpečnosti, jehož výpočet se nachází níže v této kapitole.

Jako materiál na vyhotovení vnitřního kroužku byla zvolena konstrukční ocel s označením 11 600 dle ČSN EN, St60-2 dle DIN anebo podle EN 10025+A1 s označením E335. Ocel je vhodná pro konstrukci součástí namáhaných staticky i dynamicky bez potřeby svařitelnosti, jakožto např. hřídele, osy, kladky, distanční kroužky a další [52].

Výpočet šroubů při namáhání na střih

Tab 22) Hodnoty potřebné pro výpočet šroubů na střih

Data pro výpočet šroubů na střih			
Mez kluzu šroubu třídy 10.9	σ_k	900	[MPa]
Počet šroubů	n_s	4	[-]
Malý průměr závitu šroubu	d_s	3	[mm]
Poloměr šroubového spojení	r_{ss}	0,0485	[m]
Setrvačný moment rotujících částí sestavy	J_s	$4,344 * 10^{-3}$	[kg/m ²]
Posuvové zrychlení šroubu	a_s	5	[m/s ²]
Stoupání šroubu	P	30	[mm]

Koeficient bezpečnosti pro použití šroubů – k [-]

$$k = \frac{\tau_D}{\tau_S} \quad [-] \quad (5)$$

Dovolené napětí ve střihu – τ_D [MPa]

$$\tau_D = 0,33 * \sigma_k \quad [MPa] \quad (6)$$

Střihové napětí na jednom šroubu – τ_S [MPa]

$$\tau_S = \frac{F_o}{S_s * n_s} \quad [MPa] \quad (7)$$

Střížná plocha jednoho šroubu – S_s [mm²]

$$S_s = \frac{\pi * d_s^2}{4} \quad [mm^2] \quad (8)$$

Síla vzniklá od zrychlení – F_o [N]

$$F_o = \frac{M_k}{r_{ss}} \quad [N] \quad (9)$$

Moment vzniklý od zrychlení – M_k [Nm]

$$M_k = J_s * \varepsilon_s \quad [Nm] \quad (10)$$

Úhlové zrychlení sestavy – ε_s [rad/s²]

$$\varepsilon_s = \frac{a_s}{P * 10^{-3}} * 2\pi \quad [rad/s^2] \quad (11)$$

Dosazení

$$\varepsilon_s = \frac{5}{30 * 10^{-3}} * 2\pi$$

$$\varepsilon_s = 1047,2 \text{ [rad/s}^2\text{]}$$

$$M_k = 4,344 * 10^{-3} * 1047,2$$

$$M_k = 4,6 \text{ [Nm]}$$

$$F_o = \frac{4,6}{0,0485} \text{ [N]}$$

$$F_o = 94,8 \text{ [N]}$$

$$S_s = \frac{\pi * 3^2}{4}$$

$$S_s = 7,1 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$\tau_s = \frac{94,8}{7,1 * 4}$$

$$\tau_s = 3,3 \text{ [MPa]}$$

$$\tau_D = 0,33 * 900 \text{ [MPa]}$$

$$\tau_D = 297 \text{ [MPa]}$$

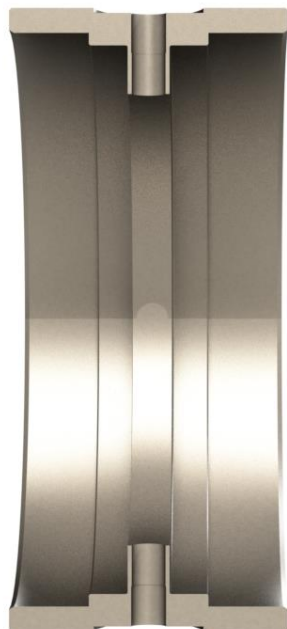
$$k = \frac{297}{3,3}$$

$$k = 90 \text{ [-]}$$

Výsledek výpočtu vyšel až příliš vysoký. Důvodem je, že na přípojnou jednotku nepůsobí žádný zatěžující moment, pouze momenty setrvačnosti rotujících součástí. Návrh šroubového spojení lze optimalizovat použitím šroubů z nižší pevnostní řady.

9.1.2 Vnější kroužek

Hlavním úkolem vnějšího kroužku je převedení maziva z centrálního mazacího systému dovnitř rotující přípojné jednotky. Na vnějším průměru jsou proti sobě (úhlová rozteč 180 °) vyvrtány dva otvory o průměru 6,8 mm, které jsou v horní části opatřeny závitem M8x1 do hloubky 8 mm (viz Obr. 64)). Závít slouží pro namontování spojky. Funkcí spojky je uchycení přívodu maziva od stroje, které je zprostředkováno nejčastěji hadičkou. Dle výběru spojky se může druh i průměr závitu lišit.



Obr. 64) Řez středem vnějšího kroužku v nárysovém pohledu

Z Obr. 64) je zřejmé, že profil vnitřní části vnějšího kroužku je symetrický dle osy zmiňovaných otvorů. Každá z polovin slouží pro uložení ložiska, distančního kroužku a hřídelového těsnění (viz Obr. 57) na straně 75). První osazení od osy symetrie je široké 7,8 mm, má průměr 110 mm a je určeno pro hřídelové těsnění. Druhé osazení je široké 16 mm, má průměr 115 mm a je určeno pro vložení distančního kroužku s ložiskem.

I v tomto případě jsou sraženy hrany jednotlivých osazení pro bezpečnou a jednodušší montáž součástí, jak je tomu u vnitřního kroužku. Totožný je i materiál, ze kterého je celá součást vyrobena.

9.1.3 Distanční kroužek

Každý z dílů vkládaných na vnitřní kroužek má své výrobní tolerance. Kdyby byly všechny tyto součásti vyrobeny na horní hranici tolerance, mohlo by dojít k tomu, že celkový šířkový rozměr vkládané podstavy znemožní její zajištění pojistným kroužkem, tzn. že vzdálenost mezi drážkou pro pojistný kroužek a hřbetem příruby matice nebude dostatečná. Aby se tomu předešlo, je v sestavě použita dvojice distančních kroužků, které slouží jako šířkový kompenzační člen.

Pro správnou funkci distančního kroužku je níže vypočítán toleranční řetězec, který udává dolní a horní hranici výrobní šířkové tolerance. Výpočtem se předchází dodatečné úpravě šířky distančního kroužku, jenž by byla nežádoucí komplikací plynulosti výroby. Výsledná

tolerance je užita i pro výpočet vnitřních osazení vnějšího kroužku, aby soustava byla správně smontována.

Distanční kroužek je jednoduché konstrukce s průřezem tvaru „P“ (viz Obr. 65)). Vnější průměr je konstruován menší než kapsa ve vnějším kroužku pro jednoduchost jeho montáže. Osazení vytvořeno na jedné straně distančního kroužku slouží jako kontaktní plocha pro vnější kroužek vkládaného ložiska. Bez přítomnosti osazení by se distanční kroužek dotýkal i ložiskového těsnění a mohlo by dojít k nežádoucím efektům (např. generace tepla).

Nejdůležitější vlastností distančního kroužku je rovnoběžnost jeho bočních, dotykových ploch. Při nedodržení podmínky tolerance rovnoběžnosti by docházelo k zvýšení házení z důvodů geometricky nepřesného vymezení mezi ložiskem a osazením vnějšího kroužku.

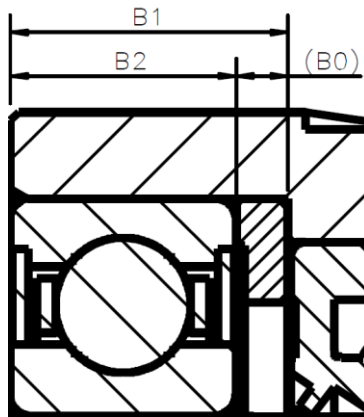


Obr. 65) Distanční kroužek s detailem průřezu

Výpočet tolerančních řetězce pro distanční kroužek

Tab 23) Hodnoty tolerancí v tolerančním řetězci B

Data pro výpočet tolerance šířky distančního kroužku		
Šířková tolerance kapsy pro ložisko a distanční kroužek	B1max	0,1 [mm]
	B1min	0,0 [mm]
Výrobní šířková tolerance ložiska	B2max	0,0 [mm]
	B2min	-0,2 [mm]



Obr. 66) Náčrt pro výpočet šířkové tolerance distančního kroužku

$$B0_{max} = B1_{max} - B2_{min} \quad [mm] \quad (12)$$

$$B0_{min} = B1_{min} - B2_{max} \quad [mm] \quad (13)$$

Dosazení

$$B0_{max} = 0,1 - (-0,2)$$

$$B0_{max} = 0,3 \text{ mm}$$

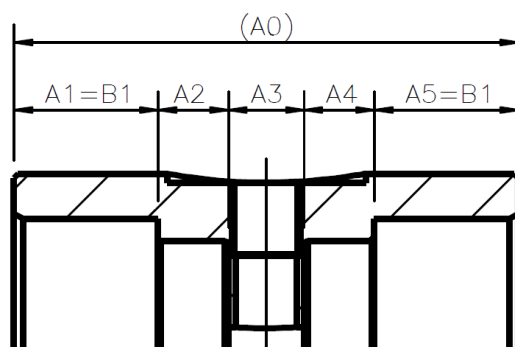
$$B0_{min} = 0,0 - 0,0$$

$$B0_{min} = 0,0 \text{ mm}$$

Výpočet tolerančních řetězce pro vnější kroužek

Tab 24) Hodnoty tolerancí v tolerančním řetězci A

Data pro výpočet tolerance šířky vnějšího kroužku		
Šířková tolerance kapsy pro ložisko a distanční kroužek (levé)	A1 _{max}	0,1 [mm]
	A1 _{min}	0,0 [mm]
Šířková tolerance kapsy pro hřídelové těsnění (levé)	A2 _{max}	0,05 [mm]
	A2 _{min}	-0,05 [mm]
Šířková tolerance vnitřního osazení pro cestu maziva	A3 _{max}	0,0 [mm]
	A3 _{min}	-0,1 [mm]
Šířková tolerance kapsy pro ložisko a distanční kroužek (pravé)	A4 _{max}	0,05 [mm]
	A4 _{min}	-0,05 [mm]
Šířková tolerance kapsy pro hřídelové těsnění (pravé)	A5 _{max}	0,1 [mm]
	A5 _{min}	0,0 [mm]



Obr. 67) Náčrt pro výpočet šířkové tolerance vnějšího kroužku

$$A0_{max} = A1_{max} + A2_{max} + A3_{max} + A4_{max} + A5_{max} [mm] \quad (14)$$

$$A0_{min} = A1_{min} + A2_{min} + A3_{min} + A4_{min} + A5_{min} [mm] \quad (15)$$

Dosazení

$$A0_{max} = 0,1 + 0,05 + 0,0 + 0,05 + 0,01$$

$$A0_{max} = 0,3 \text{ mm}$$

$$A0_{min} = 0,0 + (-0,05) + (-0,1) + (-0,05) + 0,0$$

$$A0_{min} = -0,2 \text{ mm}$$

Výsledky výpočtů nám určují, že šířková tolerance pro distanční kroužek je +0,3/0 a pro vnější kroužek +0,3/-0,2. Toleranční hodnota šířky vnějšího kroužku je následně převedena do výkresu vnitřního kroužku, jako tolerance vzdálenosti mezi drážkou pro pojistný kroužek a hřbetu příruby vnitřního kroužku přípojně jednotky. Tím se **zaručí smontovatelnost** sestavy.

9.1.4 Ucpávka

Ucpávka funguje jako těsnící prvek pracovního prostoru kuličkového šroubu. Jejím hlavním úkolem je zaručit, aby použité mazivo zůstalo uvnitř matice a nedocházelo tedy k nežádoucímu úniku. Bez dostatečného množství maziva by mohlo dojít ke špatné funkci, nebo v nejhorším případě k destrukci kuličkového šroubu s maticí. Druhým důležitým úkolem je zabránit nečistotám z okolního prostředí dostat se do maziva a následně dovnitř matice. Nežádoucí částice v mazivu by snížily životnost KŠM a zapříčinili zhoršení provozní vlastností polohového mechanismu. Při kontaminaci většími částicemi by taktéž mohlo dojít k destrukci KŠM. Ucpávka je obzvláště důležitý prvek u použití kuličkového šroubu bez krytování, nebo v oblastech, kde je zvýšená koncentrace nečistot v pracovním okolí kuličkového šroubu (dřevoobráběcí stroje, brousící stroje, a další).

V případě diplomové práce je ucpávka jednoduchého provedení. Jedná se o prstenec, na jehož vnitřním průměru se nachází negativní profil závitů (viz Obr. 68)), který po montáži přesně lícuje se závitem kuličkového šroubu a tím je zaručena těsnost. Šířka ucpávky je v ideálním případě rovna jednomu stoupání. Na trhu existuje velké množství ucpávek nejrůznějších tvarů, materiálů a provedení. Její výsledná konstrukce je dána pracovním prostředím, ve kterém bude použita. Existuje například ucpávka s kartáčem pro hrubé očištění hřídele kuličkového šroubu, plstěným kroužkem a negativním profilem závitů v jednom, pro dosažení, co nejefektivnějšího utěsnění pracovního prostoru i ve velice nevhodných podmínkách pro provoz KŠM.



Obr. 68) Ucpávka jednoduchého provedení

Typ ucpávky, jenž je použit v diplomové práci je vyroben z alkalického polyamidu PA-6, jenž může být nalezen i pod názvem silon. Jedná se o konstrukční termoplastický materiál, který vzniká alkalickou polymerací. Nejdůležitější vlastností materiálu pro naše použití je nízký koeficient tření a vysoká ořezuvzdornost. Dále materiál oplývá vysokou mechanickou pevností, dobrou obrobitelností, tepelnou stálostí a nejnižším procentem nasákavosti z řad polyamidů (6,5 až 7,5%). Zmíněný výčet kladných vlastností spolu s nízkou cenou tohoto materiálu zdůvodňuje jeho všestranné a časté využití ve strojírenství [64].

9.1.5 Ložisko

Přípojná jednotka mazání a chlazení využívá k vzájemnému otáčení součástí vložená ložiska. Konkrétně pro tento typorozměr je použita dvojice jednořadých kuličkových ložisek od společnosti SKF s označením 61818-2RZ-Y (viz Obr. 69)).



Obr. 69) Model ložiska 61818-2RZ-Y v řezu

Ložisko bylo zvoleno kvůli malým zástavbovým rozměrům, což umožňuje dodržet podmínku kompaktnosti řešení. Další z aspektů, který byl vyžadován je provedení mazání ložiska principem trvalé tukové náplně. Značně se tím zjednoduší konstrukce a údržba celé sestavy. Výrobce garantuje životnost maziva, když jsou dodrženy předem určené provozní podmínky. Z toho jasně vyplývá, po jakém čase je ložisko potřeba vyměnit z důvodů degradace maziva. Samozřejmostí v tomto typu provedení je těsnění, které zabraňuje úniku maziva a jeho kontaminaci nečistotami z okolního prostředí. V našem případě jsou použita těsnění bezkontaktní. Vlastnosti vybraného ložiska jsou v Tab 25) .

Tab 25) Parametry ložiska SKF 61818-2RZ-Y [53]

Základní rozměry			
Vnější průměr	D_L	115	[mm]
Vnitřní průměr	d_L	90	[mm]
Šířka	B_L	13	[mm]
Data pro výpočet			
Základní dynamická únosnost	C	19,5	[kN]
Základní statická únosnost	C_0	17	[kN]
Mezní únavové zatížení	P_u	0,915	[kN]
Referenční otáčky	n_{rL}	11 000	[ot/min]
Mezní otáčky	n_{mL}	5 600	[ot/min]
Výpočtový součinitel	k_r	0,015	[-]
Výpočtový součinitel	f_0	13,4	[-]

Výpočet trvanlivosti ložisek

Tab 26) Hodnoty potřebné pro výpočet trvanlivosti ložisek

Doplňující data pro výpočet trvanlivosti ložiska			
Exponent rovnice trvanlivosti	p	3	[-]
Výpočtový součinitel radiálního zatížení	X	0,56	[-]
Výpočtový součinitel axiálního zatížení	Y	2,3	[-]
Axiální zatížení	F_a	0	[N]
Hmotnost vnějšího kroužku	m_{or}	1,18	[kg]
Tíhové zrychlení	g	9,81	[m/s ²]

Základní trvanlivost ložiska podle normy ISO 281 – L₁₀ [ot]

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad [ot] \quad (16)$$

Ekvivalentní dynamické zatížení ložiska – P [N]

$$P = X * F_r + Y * F_a \quad [N] \quad (17)$$

Radiální zatížení – F_r [N]

$$F_r = m_{or} * g \quad [N] \quad (18)$$

Dosazení

$$F_r = 1,18 * 9,81$$

$$F_r = 11,6 \text{ N}$$

$$P = 0,56 * 11,6 + 2,3 * 0$$

$$P = 6,5 \text{ N}$$

$$L_{10} = \left(\frac{17\,000}{6,5}\right)^3$$

$$L_{10} = 1,79 * 10^{10} \text{ ot}$$

Výsledek trvanlivosti ložiska v otáčkách bohatě dostačuje naší potřebě. Dalo by se zde spíše uvažovat o předimenzování. Ložisko totiž působí v soustavě pouze jako člen, který zprostředkovává otáčivý pohyb a zároveň nepřenáší téměř žádné zatížení. Jediné zatížení vzniká od tíhy vnějšího kroužku.

9.1.6 Hřídelové těsnění

Jak již bylo vícekrát zmíněno, pro správnou funkci přípojné mazací a chladicí jednotky je nutno dobře utěsnit vnější a vnitřní kroužek, aby mazivo neprolínalo mimo místo aplikace. Vnitřní kroužek rotuje, tudíž se nabízí řešení těsnit sestavu hřídelovým těsněním, které je přesně navrženo pro těsnění rotujících hřídelí. Pro naši aplikaci a typorozměr bylo vybráno hřídelové těsnění od společnosti SKF s označením 90x110x7,5 HMSA7P2 R (viz Obr. 70)). Číselné označení 90x110x7,5 odpovídá vnitřnímu průměru, vnějšímu průměru a šířce těsnění. Volba právě tohoto typorozměru byla opět ovlivněna jeho zástavbovými rozměry, které jsou dostatečně malé na to, aby bylo dosaženo žádané úspory prostoru v sestavě.



Obr. 70) Grafické znázornění hřídelového těsnění HMSA7P2 R [54]

Celé hřídelové těsnění HMSA7P2 R je vyrobeno z elastomeru a jeho tělo je vyztuženo kovovým profilem. Těsnění má dva břity, kde první (tvar trojúhelníku) plní hlavní funkci těsnění a druhý (obdélníkový tvar) plní funkci prachovky a druhotného těsnění. Břity jsou vyrobeny z nitrilkaučuku (akronitrilová butadienová pryž). Nad hlavním břitem je na jeho vnějším obvodu nasazena šroubovitá pružina, která jej má za úkol přitlačit, aby těsnění plnilo svou funkci.

Nitrilkaučuk

Jedná se o univerzální materiál pro břity a těsnící prvky. Vyznačuje se dobrými technickými vlastnostmi a dobrou chemickou odolností vůči běžně těsněným látkám (např. maziva na bázi minerálních olejů, běžná paliva, oleje...). Jeho provozní teploty se pohybují od -40 °C do 100 °C s možností krátkodobého působení až do 120 °C. Umožňuje i práci na sucho, ale také pouze krátkodobě [55].

Montážní podmínky

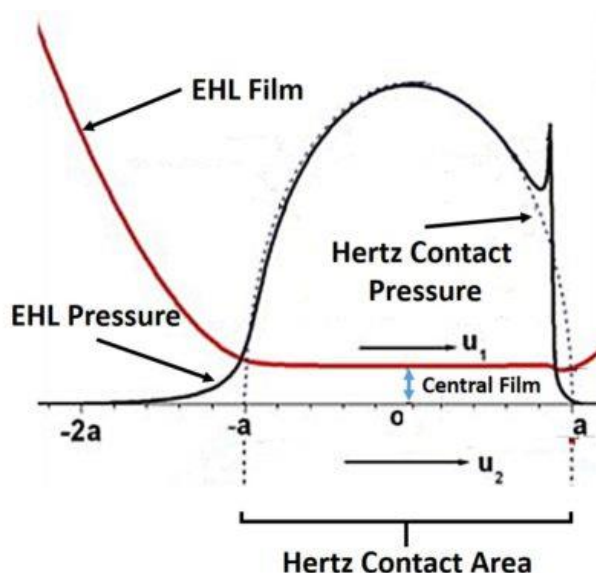
Hřídelové těsnění je citlivé na správnou montáž do sestavy. Při neopatrném zacházení během montáže může jednoduše nastat nevratné poškození těsnícího břitu, který následně nebude plnit svoji funkci. Proto výrobce vždy definuje podmínky pro sražení hran průměru, na který se bude těsnění navlékat. Další podmínky pro správnou montáž jsou kladeny na průměr hřídele a šířku kapsy pro uložení hřídelového těsnění. U průměru hřídele se dbá na jeho správný rozměr dle tolerancí a na drsnost povrchu, která musí odpovídat požadavkům výrobce.

9.2 Elastohydrodynamické mazání

Valivé elementy v soustavě kuličkového šroubu s maticí přenáší veškeré zatížení vnikající z převodu rotačního pohybu na posuvný, proto je velice důležité pracovní prostor s odvalujícími se kuličkami adekvátně mazat (obecně o mazání a volbě maziva hovoří kapitola 4.6 na straně 28). Nejvhodnějším druhem mazání pro naše potřeby je mazání Elastohydrodynamické (dále jako EHD).

Elastohydrodynamické mazání

Je to druh hydrodynamického mazání, které vzniká mezi odvalujícími se elastickými tělesy s nekonformním povrchem. Typicky se vyskytuje u ložisek, kuličkových šroubů a obecně součástí s liniovým, nebo bodovým kontaktem, kde vlivem malé kontaktní plochy několika násobně narůstá tlak. Působením adheze maziva a rotace odvalujících se povrchů je mazivo vháněno do prostoru kontaktu dvou těles. Zde se působením zmíněného narůstajícího tlaku zvýší viskozita maziva a vytvoří mezi povrchy tenký mazací film. Typický průběh tlaku a tloušťky filmu maziva je na Obr. 71) [56] [57] [58] [59].



Obr. 71) Průběh tlaku a tloušťky filmu při EHD mazání [60]

EHL film – EHD film

EHD Pressure – EHD tlak

Hertz Contact Pressure – Hertzův kontaktní tlak

Hertz Contact Area – Oblast Hertzova kontaktu

Central film – Střední hodnota mazacího filmu

Podmínky pro správnou funkci EHD mazání [58] [60]:

- Drsnost povrchů odvalujících se těles nesmí být větší, než tloušťka mazacího filmu.
- Mezera se musí klínovitě zužovat ve směru proudění maziva.
- Kontaktní prostor musí být zaplněn vhodným mazivem.
- Relativní pohyb musí mít dostatečně velkou rychlost.
- Mazivo není kontaminováno nečistotami, nebo degradováno.

Přítomnost a správnost mazacího filmu mezi povrchy se dá zjednodušeně odvodit z poměru provozní viskozity ν_p a viskozity ν_t , která se objevuje v kontaktní ploše v závislosti na teplotě, tlaku a rychlosti odvalování (viz vzorec (19)). Výsledek poměru je konstanta, který se vyhodnotí dle následujících intervalů [60]:

$$k_f = \frac{\nu_p}{\nu_t} \quad [-] \quad (19)$$

Vyhodnocení poměrové konstanty [60]

- $k \geq 4$ plná funkce EHD mazání – odvalující povrchy jsou plně odděleny.
 $0,4 \leq k < 4$ mezní tření – částečné oddělení kontaktních ploch.
 $k < 0,4$ plný kontakt – povrchy na sebe dosedají a vznikají zde mikrosváry.

Detailnější výpočet rozložení tlaku v mazací vrstvě popisuje Reynoldsova rovnice, jejíž obecný tvar v nestacionárním tvaru je uveden níže (20). V ojedinělých případech lze průběh EHD mazání vypočítat analyticky, ovšem ve většině případů jsou k dosažení výsledků použity numerické výpočty. V běžné praxi je užíváno fyzikálních softwarů jako například COMSOL Multiphysics [61].

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\rho h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial y} \right) - u \frac{\partial(\rho h)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho h)}{\partial t} = 0 \quad (20)$$

$$(x, y, t) \in \Omega_1$$

$$a$$

$$p(x, y, t) \geq 0 \quad (x, y, t) \in \Omega_2$$

Legenda:

ρ	– hustota maziva	[kg*m ³]
h	– tloušťka maziva v kontaktu	[μm]
p	– kontaktní tlak	[MPa]
η	– dynamická viskozita maziva	[Pa*s]
x, y	– kartézské souřadnice	[mm]
u	– rychlost pohybu povrchu kontaktního tělesa	[m*s ⁻¹]
t	– čas	[s]

9.3 Přenos tepla

I přes velice přesnou výrobu, nízký odpor valivého tření kuliček a vysokou účinnost mechanismu, vzniká v soustavě kuličkového šroubu a matice teplo, které je nežádoucím faktorem každého přesného zařízení. Součásti mění své rozměry vlivem teplotních rozdílů dle zákonů o teplotní roztažnosti materiálů. Existuje jednoduchá poučka, která říká, že se ocelový nosník o délce 1 m roztáhne zhruba o 0,01 mm při změně teploty o 1 °C. Přesný vzorec pro výpočet teplotních dilatací je uveden níže (21).

$$\Delta L = L_0 * \alpha * \Delta T \quad [m] \quad (21)$$

Legenda:

ΔL	– přírůstek délky	[m]
L_0	– počáteční délka součásti	[m]
α	– koeficient teplotní roztažnosti	[m/m*K]
ΔT	– rozdíl počáteční a konečné teploty součásti	[K]

Důležitým aspektem navrhovaného konstrukčního řešení je správné chlazení rotující matice, jenž bude tepelným roztažením zabránovat a tím pádem zvýší přesnost posuvového mechanismu. Mazivo ve formě oleje temperovaného na předem určenou hodnotu bude proudit uvnitř pracovního prostoru KŠM a působit jako teplotní stabilizátor, aneb průtok chladného maziva bude na sebe jímat teplotu okolních součástí.

Otázka výměny tepla lze rozdělit do tří kategorií [62] [63]:

- A) Vedením (kondukcí).
- B) Prouděním (konvekcí, přestupem).
- C) Sáláním (radiací, zářením).

Ad A) Vedení tepla – konduktce

Je to nejčastější způsob přenosu tepla. Probíhá pouze při přímém fyzickém kontaktu. Částice s vyšší kinetickou energií naráží do molekul s nižší kinetickou energií a předávají jim část své rychlosti a tím zvyšují jejich kmitání, které produkuje teplo. Důležitou vlastností materiálu při tomto druhu přenosu je tzv. tepelná vodivost. Ta udává, jak dobře je materiál schopen vést teplo. Praktický příklad z reálné života může být například položení dlaně na chladný kovový předmět [62] [63].

$$dq = -\lambda \frac{dt}{d\delta} \quad [W/m^2] \quad (22)$$

Legenda:

\dot{q}	– měrný tepelný tok	$[W/m^2]$
λ	- tepelná vodivost	$[W/m \text{ K}]$
d_t	– rozdíl teplot na povrchu stěny	$[^\circ\text{C}]$
δ	- tloušťka stěny	$[m]$

Ad B) Proudění tepla – konvekce

Působí zde efekt, kde ohříváné (teplejší) molekuly nabírají větší objem a nižší hustotu, tudíž vytlačují chladnější molekuly a zároveň díky snížené hustotě stoupají nahoru. Vzniká tím přirozené proudění, které můžeme sledovat nejčastěji u kapalin a plynů. Praktickým příkladem je zde přirozený cirkulační obvod v radiátorech [62] [63].

Konvekce se podle typu proudění rozděluje na dvě sekce:

- Nucená konvekce – proudění je vytvářeno externím působením (např. ventilátor, čerpadlo, ...).
- Přirozená konvekce – samostatné proudění.

$$\dot{q} = \alpha * (T_w - T_\infty) \quad [W/m^2] \quad (23)$$

Legenda:

\dot{q}	– měrný tepelný tok	$[W/m^2]$
α_t	– součinitel přestupu tepla	$[W/m^2 \text{ K}]$
T_w	– teplota povrchu obtékaného tělesa	$[K]$
T_∞	– teplota tekutiny v dostatečné vzdálenosti od povrchu	$[K]$

Ad C) Sálání tepla – radiace

K vyzařování tepla dochází u všech materiálů, a to dokonce i ve vakuu. Princip spočívá ve vyzařování elektromagnetických vln, které unášejí energii ven z tělesa. Platí zákon, že čím je těleso teplejší, tím více sálá teplo. Z běžného života lze uvést příklad, kdy osoba sedí vedle dál od zdroje tepla (např. oheň) a i přesto cítí přísun tepla. Maximální tepelný tok, který může vyzařovat tzv. absolutně černé těleso udává Stefan-Boltzmanova rovnice (24) [62] [63].

$$\dot{q} = \sigma * T^4 \quad [W/m^2] \quad (24)$$

Legenda:

\dot{q}	– měrný tepelný tok	[W/m ²]
σ	– Stefan-Boltzmanova konstanta ($\sigma = 5,67032 \cdot 10^{-8}$)	[W/m ² K ⁴]
T	– absolutní teplota tělesa	[K]

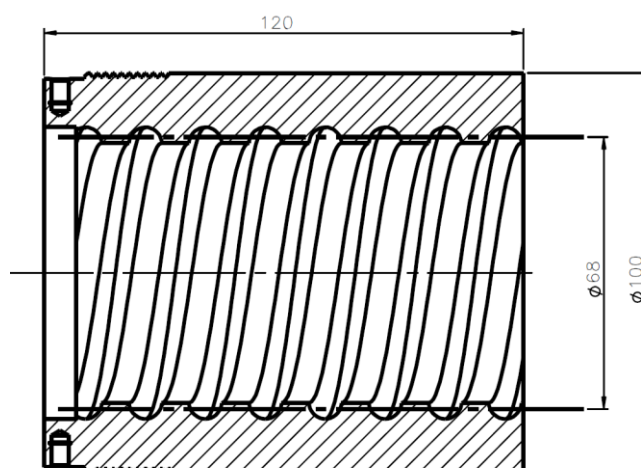
Při představě o výpočtu přeneseného tepla z chladicího oleje do tělesa rotující matice a do hřídele kuličkového šroubu musíme vzít v potaz, že v pracovním prostoru probíhá více druhů přenosů tepla najednou. Spolu s výraznou dynamikou procesu vlivem pohybujících se částí v sestavě a složitě definovatelnou geometrií vnitřního pracovního prostoru KŠM nám vzniká úloha, která lze analyticky vypočítat pouze velice obtížně. V běžné praxi budou na tuto problematiku použity výpočtové softwary, které pracují na principu numerických metod. Pro výpočet přenosu tepla v soustavě kuličkového šroubu a rotující matice může být použit například software ANSYS Fluent. Softwary, které se zabývají prouděním a přenosem tepla se lze obecně shrnout pod zkratku CFD [Computational Fluid Dynamics = výpočet dynamiky tekutin].

Přes všechny zmíněné komplikace, lze výpočet natolik zjednodušit, abychom dosáhli orientačních výsledků. Pro výpočet bude použita teorie přenosu tepla vedením, kde pomocí tepelného toku a vstupních podmínek bude vypočten žádaný průtok maziva. Předpokládejme, že hodnoty teplot byly naměřeny z experimentu a těleso rotující matice zjednodušeno na trubku o konstantním průřezu a jednoduché válcové ploše (viz Obr. 72)). Zbytek potřebných hodnot pro výpočet se nachází v Tab 27) .

Výpočet potřebného průtoku oleje

Tab 27) Hodnoty potřebné pro výpočet průtoku oleje

Data pro výpočet přenosu tepla			
Délka tělesa matice	L_m	0,12	[m]
Střední průměr závitu kuličkové matice	D_1	0,068	[m]
Vnější průměr tělesa matice	D_2	0,10	[m]
Teplota oleje na vstupu	t_{o1}	293,15	[K]
Teplota oleje na výstupu	t_{o2}	323,15	[K]
Počáteční teplota matice	t_{m1}	353,15	[K]
Žádaná teplota matice	t_{m2}	298,15	[K]
Hustota proudícího oleje	ρ_{ol}	890	[kg/m ³]
Tepelná vodivost oceli	λ_{oc}	46	[W/m K]
Měrná tepelná kapacita oleje	c_{ol}	2000	[J/kg K]



Obr. 72) Zjednodušený návrh tělesa matice pro výpočet přenosu tepla

Objemový průtok maziva – Q_v [m³/s]

$$Q_v = \frac{Q_m}{\rho_{ol}} \quad [m^3/s] \quad (25)$$

Hmotnostní průtok maziva – Q_m [kg/s]

$$Q_m = \frac{\dot{Q}}{c_{ol} * (t_{m1} - t_{m2})} \quad [kg/s] \quad (26)$$

Tepelný tok válcovou stěnou – \dot{Q} [W]

$$\dot{Q} = \frac{2\pi * L_m * \lambda_{oc}}{\ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)} * \Delta t_s \quad [W] \quad (27)$$

Střední logaritmický rozdíl teplot – Δt_s [W]

$$\Delta t_s = \left| \frac{(t_{m1} - t_{m2}) - (t_{o2} - t_{o1})}{\ln \left(\frac{(t_{o2} - t_{o1})}{(t_{m1} - t_{m2})} \right)} \right| [K] \quad (28)$$

Dosazení

$$\Delta t_s = \left| \frac{(353,15 - 298,15) - (323,15 - 293,15)}{\ln \left(\frac{323,15 - 293,15}{353,15 - 298,15} \right)} \right|$$

$$\Delta t_s = 41,2 \text{ K}$$

$$\dot{Q} = \frac{2\pi * 0,12 * 46}{\ln \left(\frac{0,1}{0,068} \right)} * 41,2$$

$$\dot{Q} = 3\,087,6 \text{ W}$$

$$Q_m = \frac{3\,087,6}{2000 * (353,15 - 298,15)}$$

$$Q_m = 0,028 \text{ kg/s}$$

$$Q_v = \frac{0,028}{890}$$

$$Q_v = 3,146 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_v = 1,89 \text{ l/min}$$

9.4 Bezpečnost a rizika

Kvalita, spolehlivost a bezpečnost spolu s riziky jsou ve strojírenské oblasti velice často diskutovaným a čím dál více progresivnějším tématem. Výrobci mají snahu zanalyzovat návrh konstrukce, konkurenceschopnost součástí, možné komplikace při výrobě a podobná témata již před samotným začátkem projektu, aby předešli co nejvíce možným problémům. K tomu slouží nejrozličnější teoretické metody jako např. SWOT analýza, analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA – [Failure Mode and Effects Analysis]), analýza stromu chyb (FTA – [Fault Tree Analysis]), softwarové aplikace apod.

Tématu se taktéž věnuje technická norma **ČSN EN ISO 13849-2**, zabývající se bezpečnostními zásadami, vhodností použitých prvků a předcházením závad v konstrukci součástí. Jednodušeji řečeno, norma udává obecný návod pro kvalitní a bezpečné zhotovení mechanického systému.

I v případě diplomové práce se jedná o nový návrh konstrukce mechanického systému a je tedy na místě zamýšlet se nad bezpečností a riziky s touto variantou řešení spojenými. Autor rozděluje analýzu přípojných jednotek do následujících 4 podoblastí:

- A) Konstrukce a návrh.
- B) Technologie a výroba.
- C) Zkoušky funkčnosti.
- D) Aplikace u zákazníka.

Ad A) Konstrukce a návrh

Již během konstrukce se musí nad budoucím výrobkem uvažovat z více úhlů pohledu. Autor práce během návrhu myslel na následující faktory, které ovlivnily výslednou konstrukci.

- Dimenzování – Přípojná jednotka musí být adekvátních rozměrů. Předimenzování i poddimenzování by vedlo k nesprávné funkci výrobku. V ideálním případě je konstrukce podložena teorií, zkušenostmi, experimenty, nebo výpočty.
- Volba materiálů – Musí být zvolen adekvátní materiál ke způsobu užití součásti a jejího pracovního prostředí.
- Výběr normovaných prvků – Při nutnosti použít nakupovanou, normovanou součást (pojistný kroužek, šrouby, hřídelové těsnění...) je nutno uvažovat nad jejím účelem a vhodností.
- Technologická nerealizovatelnost – V konstrukčním návrhu se nesmí vyskytovat prvky, které by nebyly možné zhotovit v prostředí společnosti KSK PM, nebo se spoluprací kooperace.
- Ekonomičnost – Výsledná konstrukce nesmí obsahovat prvky, které jsou vůči své funkčnosti neadekvátně drahé. Cílem je nabídnout zákazníkům cenově dostupné řešení chlazení a mazání, které bude plně funkční a zároveň přinese společnosti zisk.
- Bezpečnost provozu – Přípojná jednotka musí být plně funkční a nesmí být příčinou havarijního stavu KŠM, nebo celého stroje.
- Budoucí pracovní prostředí – Je nutno se zamyslet, kde všude a za jakých podmínek může být přípojná jednotka použita. To silně ovlivňuje témata volby materiálu, dimenzování a celkový návrh obecně.
- Ekologičnost – Téma, které taktéž patří mezi vysoce diskutované a aktuální. Uvažuje se v něm o recyklovatelnosti materiálů, rekuperaci energie, těsnosti proti unikání látek, energetické zátěži, celkové účinnosti mechanismu apod.

Ad B) Technologie a výroba

V tomto bodě je nutno zabývat se otázkou, jak moc ovlivní nový výrobek již zaběhnutý chod výroby a technologické postupy. Přípojná jednotka se nesmí stát zatěžujícím prvkem, který by ovlivňoval dodací termíny, nebo dokonce cenu nejdůležitějšího artiklu společnosti KSK PM, kuličkového šroubu. Při navrhování konstrukce musíme uvažovat nad následujícími riziky z pohledu technologie a výroby:

- Viz Ad A) – Technologická nerealizovatelnost.
- Použití zbytečného množství strojů.
- Ovlivnění ceny a plynulosti procesu výroby vzhledem k potřebě nákupu nových nástrojů.
- Naplánování nevhodného sledu operací.
- Nedodržení rozměrů z výkresové dokumentace.
- Špatný odhad výrobního času => nárůst nákladů.
- A další...

Ad C) Zkoušky funkčnosti

Nedílnou částí procesu zavádění nového výrobku je jeho zkoušení a provádění experimentů, aby zákazník dostal již kvalitní a spolehlivý produkt. K testování funkčnosti jednotlivých součástí, nebo celého kuličkového šroubu s maticí má společnost KSK PM zhotovenou dílnu se zkušebními stolicemi. Z pohledu bezpečnosti a rizik mohou nastat např. následující nežádoucí situace:

- Špatné seřízení zkoušeného výrobku ve zkušební stoličce.
- Vnesení nežádoucích proměnných do výsledků experimentu.
- Selhání zkušební stolice.
- Selhání měřicí techniky.
- Negativní výsledek experimentu (nefunkčnost mazání, nebo chlazení u přípojné jednotky).
- Selhání jednoho z dílů sestavy.
- A další...

Ad D) Aplikace u zákazníka

Po zakoupení celého posuvového mechanismu (kuličkový šroub s maticí) spolu s přípojnou mazací a chladicí jednotkou je již na zákazníkově, zda se bude držet pokynů k užití pro výrobek od společnosti KSK PM a zda dodrží předem domluvené provozní podmínky. V této části životního cyklu výrobku tedy výrazně figuruje tzv. lidský faktor. Z pohledu bezpečnosti a rizik mohou nastat např. následující situace:

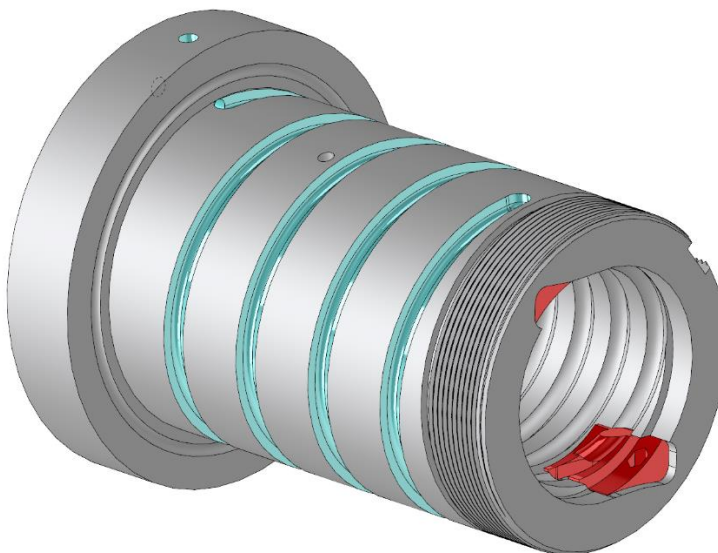
- Chybějící krytování stroje.
- Použití jiného než doporučeného maziva.
- Špatně nastavený průtok maziva.
- Neshodné rozměry smlouvaného pracovního prostředí.
- Nedodržení limitů otáček.
- Přetěžování KŠM
- Chemicky nepříznivé prostředí
- A další...

Vyjmenované možné situace při aplikaci přípojné jednotky u zákazníka mohou vést ke koliznímu stavu, nefunkčnosti jednotky, nebo dokonce k destrukci celého posuvového mechanismu.

10 VLASTNÍ NÁVRH CHLAZENÉ ROTUJÍCÍ MATICE

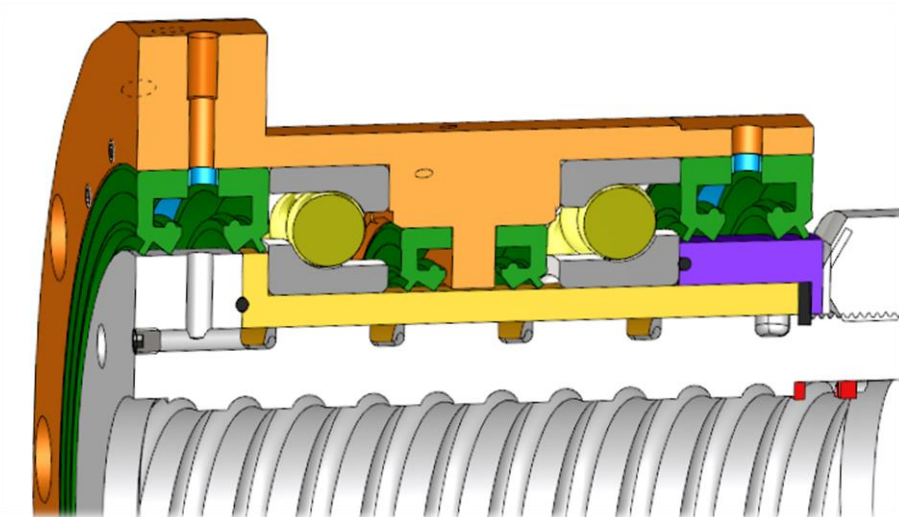
V diplomové práci již bylo zmíněno, že se na trhu nevyskytuje nabídka rotující matice s integrovaným chlazením. Toto zjištění vedlo autora práce k vytvoření **vlastního návrhu**, ve kterém bude soustava rotující **matice s integrovaným mazáním i chlazením**. Kapitola se bude věnovat funkčnímu a konstrukčnímu popisu konceptuálního návrhu řešení pro dvouchodý kuličkový šroub o průměru 63 mm, stoupání 30 mm a s kuličkou o průměru 7,938 mm.

Základem je vnitřní těleso rotující kuličkové matice na jejímž vnějším průměru se nachází vyfrézovaná drážka ve tvaru šroubovice, ve které bude proudit chladicí médium (viz Obr. 73), kde modře zvýrazněné plochy definují cestu chladiva). Je důležité, aby matice byla zhotovena v provedení s převodem kuliček axiálními segmenty. Kdyby byly použity lůžka, nebo segmenty radiální, možná dráha šroubovice by byla značně omezena, protože lůžka i radiální segmenty prostupují celou stěnou matice. Čelo příruby je připraveno k osazení řemenicí a zadní část je zhotovena se závitem pro KM matici a MB podložku, jako tomu bývá u běžných rotujících matic.



Obr. 73) Vnitřní těleso chlazené rotující matice

Pro dosažení utěsnění kanálku ve tvaru šroubovice je vnitřní těleso v sestavě přetaženo trubkovitou součástí s přírubou (žlutá součást na Obr. 74)), jenž se šrouby se zápusťnou hlavou upevní k zadní straně příruby vnitřního tělesa matice. Proti prosakování chladiva z důvodů nedokonalé výroby je žlutá součást z obou stran vybavena těsněním. U příruby je použit O-kroužek a v zadní části těsnící podložka. Obě těsnění jsou přitaženy a lehce deformovány pro ještě lepší těsnící účinky šroubovým spojem. Pro co nejlepší představu o kompletní sestavě lze nahlédnout na Obr. 74), kde je vidět umístění jednotlivých dílů.



Obr. 74) Řez chlazenou rotující maticí v místě přívodu chladiva

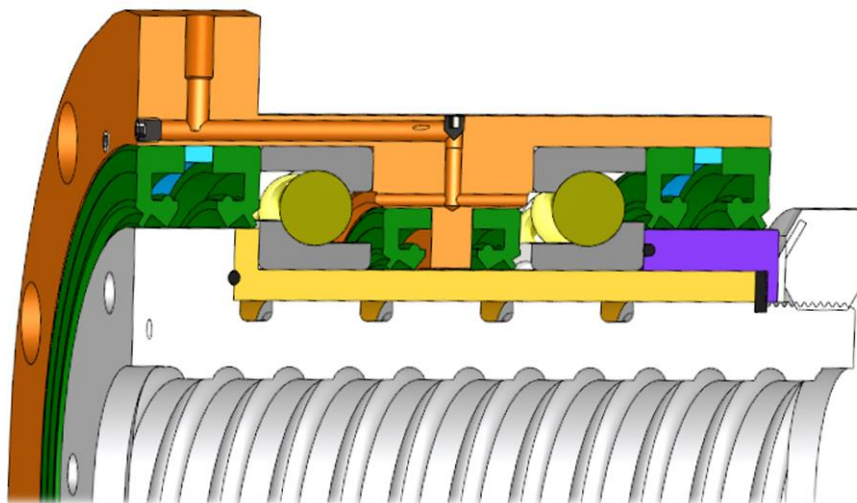
Otáčivé uložení vnitřního tělesa matice zprostředkovávají dvě jednořadá kuličková ložiska s kosoúhlým stykem sestavená do „O“, která jsou rozepřena mezi hřbet příruby žluté součásti, vnitřní osazení vnějšího tělesa matice (oranžová součást) a předepínací kroužek (fialová součást).

Fialová součást má i přes svůj jednoduchý tvar spoustu důležitých funkcí. Musí přenášet sílu způsobenou dotažením KM matice a zároveň při tom lehce přitlačit těsnící podložku ke žlutému mezikruží a drážce vnitřního tělesa matice. Dále musí vnější průměr součásti fungovat jako těsnící plocha pod hřídelová těsnění, tzn. budou na něj kladeny rozměrové, geometrické a povrchové tolerance.

Druhou nejdůležitější součástí soustavy rotující matice je vnější těleso matice (oranžová součást), jehož příruba a přísně tolerovaný vnější průměr slouží pro uchycení do stroje. V tomto návrhu ovšem zprostředkovává více důležitých funkcí nežli jen přesnou montáž do stroje. Na vnějším průměru jeho příruby se nachází tři plochy uprostřed se závity, které slouží jako šroubový spoj pro montáž spojek mazání, nebo chlazení. Jsou použity tři vstupy, protože návrh počítá s odděleným mazáním ložisek, mazáním pracovního prostoru matice a samozřejmě oddělené chlazení

Cesta chladiva Obr. 74)

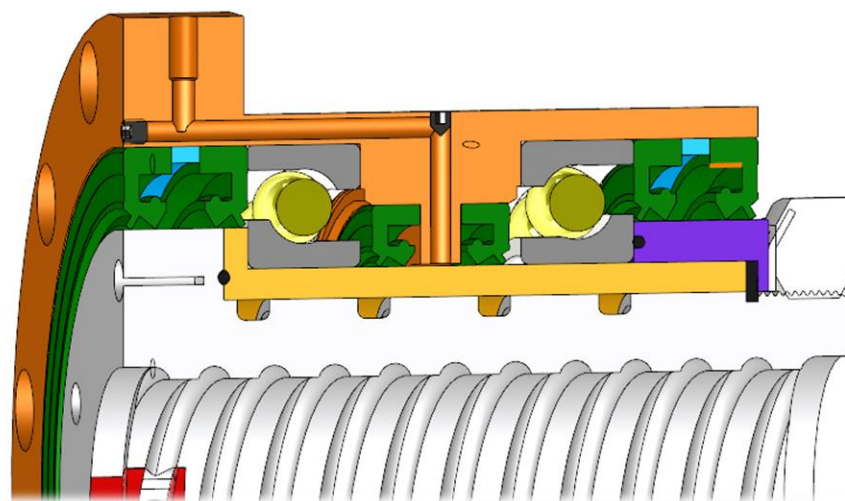
První přípojný otvor se závitem na přírubě oranžové součásti slouží k upevnění spojky chladiva, která přivede chladicí kapalinu do příruby. Ta ji dál vede do prostoru mezi hřídelovými ložisky až k přírubě vnitřního tělesa matice. Vnitřním vrtáním v přírubě se chladivo dostane do drážky ve tvaru šroubovice. Výstup chladiva vede vrtáním ve žluté součásti, do prostoru mezi hřídelovými těsněními až do závitového otvoru na oranžové součásti, kde opět čeká spojka, která převede chladivo do vedení.



Obr. 75) Řez chlazenou rotující maticí v místě přívodu maziva pro ložiska

Cesta maziva k ložisku Obr. 75)

Druhý přípojný otvor se závitem na přírubě oranžové součásti slouží k upevnění spojky maziva pro ložisko. Systémem vrtání je mazivo převedeno až do pracovního prostoru ložisek.



Obr. 76) Řez chlazenou rotující maticí v místě přívodu maziva do pracovního prostoru KŠM

Cesta maziva do pracovního prostoru KŠM Obr. 76)

Třetí přípojný otvor se závitem na přírubě oranžové součásti slouží k upevnění spojky maziva pro pracovní prostor kuličkového šroubu. Systémem vrtání je mazivo převedeno až do prostoru nad středem žluté součásti. V té je vyvrtán otvor, který vede i skrz vnitřní těleso matice až do pracovního prostoru kuliček, kde je mazivo aplikováno. Vrtání vnitřním tělesem lze vidět na Obr. 73).

K utěsnění jednotlivých mazacích, nebo chladicích sekcí jsou použita hřídelová těsnění. Kvůli technologii vrtaných kanálků se musí jednotlivé vstupy vrtaných děr zaslepit stavěcími šroubky, na které je aplikováno lepidlo. Celkové zhodnocení návrhu z pohledu výhod a nevýhod je v Tab 28) .

Montážní postup

- Na vnitřní těleso se nasune a přišroubuje žlutá součást osazená O-kroužkem.
- Vloží se levé ložisko.
- Oranžová součást se využije jako montážní přípravek pro hřídelové těsnění a spolu s ním se nasune na levé ložisko.
- Druhé hřídelové těsnění se nasune na žlutou součást a přitlačí se až k vnitřnímu osazení oranžové součásti.
- Do drážky za závitem ve vnitřním tělese se vloží těsnicí podložka.
- Fialová součást osazená O-kroužkem se nasune na konec žluté součásti a dotlačí se až na dotyk s pravým ložiskem.
- Hřídelové těsnění se nasune na fialovou součást a přitlačí se až k pravému ložisku.
- Speciálním nástrojem je vložen poziční čep pro modrou součást.
- Vloží se modrá součást a nasune až na dotyk s čepem.
- Nasune se zbývající hřídelové těsnění až na dotyk s modrou součástí.
- Předchozí 4 body se opakují v prostorách nad přírubou.
- Vloží se MB podložka.
- KM matice se dotáhne vypočteným momentem a zajistí MB podložkou.

Tab 28) Zhodnocení vlastního návrhu chlazené rotující matice.

Výhody	Nevýhody
Chladicí drážka ve tvaru šroubovice odebírá teplo rovnoměrně.	Nárůst zástavbových rozměrů (cca. 3%).
Na trhu neexistuje nabídka rotující matice podobného typu.	Mohou nastat potíže s prosakováním.
Rozšíření užití rotující matice i do oblastí přesných strojů.	Řešení obsahuje více součástí nežli klasická sestava rotující matice.
Oddělené mazání ložisek a pracovního prostoru KŠM.	Zavádění nových dílů do výroby.
	Náročnější výroba.

11 KOMENTÁŘ K VÝKRESOVÉ DOKUMENTACI

Vnitřní kroužek [Příloha A2]

Výkres vnitřního kroužku se skládá převážně z řezů součástí. Hlavním pohledem je řez vedený pravou rovinou modelu, který ukazuje soustružený tvar součásti. Z něj vychází pět pohledů, a to konkrétně řez A-A, řez B-B a tři detailní náhledy X, Y a Z. Poslední (sedmý) pohled na výkresu je pomocný pohled W.

Hlavní pohled vypovídá o tvaru součásti a definuje její maximální rozměry ($\varnothing 106$ mm, délka 75 mm), vzdálenost průběžných radiálních drážek od hřbetu příruby (24,75 mm), vzdálenost drážky pro pojistný kroužek od hřbetu příruby (59,15 mm) a rozměry zbylých osazení. V pohledu se nachází dvě základny, kde základna A leží na ose vnějšího průměru, na který se budou ukládat ložiska a základna B, která leží na stěně osazení pro montáž k matici. Průměr připojovacího osazení ($\varnothing 96$ G7) je tolerován v soustavě jednotné díry s drobnou vůlí. Zároveň je podmíněn geometrickou tolerancí kruhovitosti a sousostí vůči základně A, aby připojovací průměr a průměr pro uložení ložisek byly v co nejlepší sousedě shodě a nevnašely se do sestavy nežádoucí vibrace případným vyosením těchto průměrů. Stěna osazení pro připojení k matici podléhá geometrické toleranci házení vůči základně A ze stejného důvodu. Levá část hlavního pohledu nám nabízí průměrové hodnoty vnitřních ploch ($\varnothing 68$, $\varnothing 66$), vnitřního osazení ($\varnothing 70$), kapsy pro ucpávku ($\varnothing 73$ D10) a vnější plochy ($\varnothing 90$ h6). Nejdůležitějším rozměrem ze zmíněného výčtu je vnější průměr, na který se budou nasouvat ložiska. Rozměrová tolerance h6 je u tohoto průměru zvolena dle způsobu použití (míry zatížení) ložiska a pro zjednodušení montáže a demontáže. Geometrické tolerance kolmosti a házení, jenž jsou zde použity, nám všechny funkčně důležité plochy prováží.

V řezu A-A je dán úhel sklonu stěn, délka, počet a rozložení průběžných radiálních drážek. Je zde také určen průměr zápichu ($\varnothing 86,5$) na vnějším průměru vnitřního kroužku, jenž slouží pro odlehčení vtoku maziva. Pro přesné definování tvaru drážky je vynesena pomocný pohled W, na němž se nachází zvýrazněný obrys drážky a její tvarové rozměry.

Řez B-B slouží čistě k definování děr s kuželovým zahloubením, které se nachází v připojovací přírubě a budou použity pro zápusné šrouby s vnitřním šestihranem M4x10.

Detailní pohled X vypovídá o tvaru hřbetu příruby. Nachází se zde osazení pro kontakt součásti s vnitřním kroužkem ložiska. Je zde také popsán zápich F1x0,1, jenž je použit z technologických důvodů.

Detailní pohled Y definuje tvar konce vnitřního kroužku, kde se nachází drážka pro pojistný kroužek, závitová díra M3 pro pojistný šroub s čípkem a náběžné hrany pro správnou montáž hřídelových těsnění a ložisek. Šířkové a průměrové tolerance ($\varnothing 86,5$ h12, šířka 3,15 H13) drážky byly určeny z tabulek.

Detailní pohled Z upozorňuje na zápichový výbrus, který je potřeba zhotovit pro správnou funkci hřídelových těsnění. Výrobce SKF definuje pro náš typorozměr průměr hřídele toleranci h11 ($\varnothing 90$ h11). Dalším požadavkem od výrobce je drsnost a kruhovitost povrchu, která je taktéž uvedena na detailním pohledu Z.

Vnější kroužek [Příloha A4]

Hlavní pohled, nárys, je orientován na přední rovinu modelu. Z jeho středu vychází vertikální řez A-A, který nám poskytuje jasnější představu o tvaru součásti. Poslední pohledy nacházející se na výkresu jsou detailní náhledy X, Y a Z.

Řez A-A ukazuje, že součást je souměrná podle osy rotaci i podle vertikální osy souměrnosti. Jsou zde zvoleny geometrické základny A a B, na které se následně odkazují geometrické tolerance. Základna A leží na ose válcovité plochy pro uložení ložiska. Základna B poté leží na ploše kontaktu distančního kroužku s vnějším kroužkem a odkazuje geometrickou toleranci rovnoběžnosti na protilehlou symetrickou plochu. Cílem je dosažení co nejmenšího házení celkové složené sestavy. Průměrová tolerance kapsy pro hřídelové těsnění ($\varnothing 110$ H8) a její šířka byla zvolena na základě montážních požadavků od výrobce. Toleranční pole pro vnitřní průměr ložiskové kapsy ($\varnothing 115$ K6) bylo zvoleno na základě výrobních tolerancí ložiska a navrhovaného přechodného uložení v soustavě jednotné díry. Úchylnky šířkových rozměrů vychází z vypočteného tolerančního řetězce z kapitoly 9.1.3 na straně 88.

Detail X vypovídá o konstrukci přípojného závitu pro spojku mazání a kruhové kapsy pro těsnění zmíněné spojky. V detailu Y je vyobrazeno sražení hrany, které je vyžadováno pro správnou montáž ložiska. Poslední detail Z nám udává maximální přípustný rádius v rohu kapsy pro hřídelové těsnění a určuje maximální možnou hodnotu házení pro pluchu, kde bude dosedat distanční kroužek.

Distanční kroužek [Příloha A3]

Hlavní pohled, nárys, je orientován na pravou rovinu modelu a dává jasnou představu o tvaru součásti. Z jeho středu vychází vertikální řez A-A a obsahuje pouze kótu největšího průměru distančního kroužku. Tolerance velkého průměru ($\varnothing 115 -0,1/-0,2$) byly zvoleny tak, aby se kroužek bez problémů vešel do kapsy pro ložisko ve vnějším kroužku ($\varnothing 115$ K6).

V řezu A-A je definována geometrická základna A, která pomocí tolerance rovnoběžnosti svazuje čelo i hřbet součásti. Je to z důvodu následné montáže, kde distanční kroužek je v dotyku s vnějším kroužkem a ložiskem. Kdyby nebyly tyto dvě plochy v rovnoběžné vazbě, docházelo by k nežádoucímu házení sestavy.

Detailní pohled X nám nabízí zvětšený průřez distančního kroužku. Nejdůležitější kótou v tomto detailu je kóta celkové šířky, jejíž toleranční pole je určené z výpočtu tolerančního řetězce z kapitoly 9.1.3 na straně 88.

Ucpávka [Příloha A5]

Výkres součásti se dělí do tří částí, nárys součásti, řez A-A a informační poznámka o hodnotách negativního profilu závitu. Hlavní pohled, do osy součásti, vypovídá pouze o jejím tvaru a poloze umístění řezu A-A. Ve zmíněném řezu jsou okótovány potřebné hodnoty, které spolu s informacemi z poznámky tvoří detailní popis rozměrů ucpávky a negativního profilu závitu. Dle zavedeného interního technologického postupu společnosti KSK PM dokáže pracovník na základě těchto informací součást zhotovit.

Vnější průměr ($\varnothing 73 0/-0,1$), vnitřní průměr mezi negativním profilem závitu ($\varnothing 63 +0,1/0$) a šířkový rozměr (12) jsou hlavní hodnoty, které popisují kroužek, na němž je

zkonstruován negativní profil závitů. Tyto hodnoty spolu s jejich tolerancemi jsou důležité pro správnou montáž a funkci ucpávky.

Zbylé kóty spolu s poznámkou nalevo definují samotný negativní profil závitů a jsou tedy důležité pro správnou funkci ucpávky.

Přípojná jednotka [Příloha A1]

Jak je známo z teorie, na výkresu soustavy se kótují pouze maximální a montážní rozměry sestavy. Je tomu tak i v tomto případě, kde největší průměr je okótován na hlavním pohledu do osy součásti a největší šířka, spolu s přípojovacím průměrem k rotující matici je označena v řezu A-A, který vychází z hlavního pohledu a je veden středem součásti (pravou rovinou modelu). Řez A-A nabízí pohled na všechny součásti obsažené v sestavě. Ty jsou následně označeny odkazy, které uvádí jejich výrobní název, název součásti a počet kusů obsažených v sestavě. Jedná-li se o nakupovanou součást, odkaz uvádí normu součásti, její název, označení a počet obsažených kusů v sestavě.

Pro lepší vizualizaci je přidán izometrický pohled na kompletní přípojnou jednotku.

12 ZÁVĚR

Během vyhotovení výsledného řešení vzešlo najevo, že nejlepší odpovědí na zadání a cíle diplomové práce bude zkonstruovat přípojnou jednotku chlazení a mazání, která se následně namontuje na rotující matici. Přípojná jednotka zprostředkovává přívod maziva do pracovního prostoru šroubu i jeho následné odvedení zpět do zásobníku. Ve výsledném návrhu bylo jako mazivo použit chlazený olej, který má dvojí funkci. Svými vlastnostmi zprostředkovává kvalitní a důkladné mazání sestavy a svojí teplotou v kombinaci s frekventovanou cirkulací odvádí teplo generované při práci kuličkového šroubu a rotující matice.

Diplomová práce si zakládala na širším popisu jednotlivých kapitol a problémů pro jednodušší pochopení dané teorie, či situace. Dále by autor rád vyzdvihl, že určení metodiky vícekritériálního výběru byla věnována celá podkapitola, která dala lepší přehled o vhodnosti metody vybrané autorem. Vítězné řešení bylo tedy zvoleno důkladněji a s rozvahou. Nad rámec zadání byl vyhotoven konceptuální návrh rotující matice s přímo integrovaným chlazením a mazáním, které se připojí na centrální mazací systém stroje. Navržený koncept rotující matice skýtá spoustu výhod, jakožto např. rovnoměrné odvádění tepla. Autor by rád neskromně podotkl, že při vyřešení zbývajících konstrukčních problémů se může stát z konceptuálního návrhu poměrně konkurenceschopný výrobek.

Diplomová práce by šla dále rozvíjet experimentálním i výpočtovým směrem. Ve vývojovém oddělení společnosti KSK PM je možnost podniknout experimenty na vyrobené, reálné přípojně jednotce. Experiment by nám potvrdil správnost funkce řešení, a také odhalil jeho nedostatky. Hlavním výstupem softwarového výpočtu a simulací by byla upřesněná hodnota potřebného průtoku pro jednotlivé typorozměry a aplikace.

Práce celkově nabídla široký teoretický podklad pro danou problematiku a důkladně vypovídala o nynější nabídce chlazení a mazání rotujících matic hlavních výrobců kuličkových šroubů. Diplomová práce tedy může sloužit mimo jiné, jako odrazový můstek pro další konstrukční návrhy.

13 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MAREK, Jiří a kolektiv. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 2014. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [2] Technické informace. *KSK precise motion* [online]. [cit. 2018-02-07]. Dostupné z: <http://www.ksk-pm.cz/kulickove-srouby/technicke-informace/>
- [3] Historie společnosti. *KSK precise motion* [online]. [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <http://www.ksk-pm.cz/historie-spolecnosti/>
- [4] What are ball screw?. In: *Medical Design and outsourcing* [online]. 4 October 2016 [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <https://www.medicaldesignandoutsourcing.com/what-are-ball-screws/>
- [5] Technologie zhotovení závitu. *KSK precise motion* [online]. [cit. 2018-02-01]. Dostupné z: <http://www.ksk-pm.cz/kulickove-srouby/technologie-zhotoveni/>
- [6] ČERVENÝ, Petr. *Výroba pohybových šroubů* [online]. Brno, 2011 [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=40593.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [7] COLLINS, Danielle. Ground vs. Rolled Ball Screws: Does manufacturing method matter?. In: *Linear motion tips: A Design World Resource* [online]. 6 April 2016 [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <https://www.linearmotiontips.com/ground-vs-rolled-ball-screws-manufacturing-method-matter/>
- [8] BARTOS, Brooke. Part I: Comparing Rolled Ball Screws and Ground Ball Screws. In: *MiSUMi: Mech lab* [online]. 14 July 2015 [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: http://blog.misumiusa.com/rolled-vs-ground-ball-screws/#disqus_thread
- [9] Ball Return Systems. In: *Steinmeyer* [online]. [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <https://drive.steinmeyer.com/technology/ball-return-systems/>
- [10] Typy převodů. In: *KSK precise motion* [online]. [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <http://www.ksk-pm.cz/kulickove-srouby/typy-prevodu/>
- [11] Ball Screws. In: *Rockford Ball Screw* [online]. [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <http://www.rockfordballscrew.com/products/ball-screws/>
- [12] *Precision, Caged Ball screw*. Dostupné také z: https://tech.thk.com/en/products/pdf/en_a15_064.pdf#1
- [13] *Mazací návod pro kuličkové šrouby*. 2011. Dostupné také z: http://www.hiwin.cz/cz/produkty/kulickove-srouby/mazani/193_mazaci-navod-pro-kulickove-srouby
- [14] Grease Lubrication Intervals and Quantities. In: *Steinmeyer* [online]. [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <https://drive.steinmeyer.com/technology/lubrication-and-wipers/grease-lubrication/grease-lubrication/>
- [15] *Precision Machine Components*. Japan, 2017. Dostupné také z: <http://www.nskamericas-literature.com/en/precision-machine-components/#>
- [16] Nut Designs. In: *Steinmeyer* [online]. [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <https://drive.steinmeyer.com/technology/preload-and-rigidity/nut-designs/>
- [17] *Katalog produktů*. Kuřim, 2017. Dostupné také z: http://www.ksk-pm.cz/fileadmin/user_upload/Ostatni_pdf_soubory/Ke_stazeni/Prospekty_2017/Produktovy_katalog_2017_CZ.pdf

- [18] STRAPINA, Tomáš. *Deskripce kuličkových šroubů* [online]. Brno, 2009 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/6432/Deskripce%20kuli%C4%8Dkov%C3%BDch%20%C5%A1roub%C5%AF%20-%20Tom%C3%A1%C5%A1%20Strapina_el-verze.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Prof. Ing. Zdeněk Kolíbal, Csc.
- [19] Kuličkové šrouby s poháněnou maticí. *KSK precise motion* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://www.ksk-pm.cz/kulickove-srouby/ks-s-pohanenou-matici/>
- [20] Rotary Ball Screw: Rotary-Nut Series. In: *THK* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: https://tech.thk.com/upload/catalog_claim/pdf/cat_blr_dir_en.pdf
- [21] Long Travel vs High Speed: Part 2. *Linear motion tips: A Design World Resource* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.linearmotiontips.com/long-travel-vs-high-speed-part-2/>
- [22] Linear motion standard range. In: *SKF* [online]. 2012 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://www.skf.com/binary/151-68266/12774-EN-Linear-motion-standard-range.pdf>
- [23] AC servomotor: EZM series. In: *Direct industry* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/stoeber/product-6037-795875.html>
- [24] Rotating Nuts: Diameter 25 - 63 mm. In: *Steinmeyer* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: https://drive.steinmeyer.com/fileadmin/media/downloads/en/steinmeyer_catalog_rotating_nuts_25-63mm_engl_2017.pdf
- [25] NOVÁČEK, Milan. *Kuličkové šrouby pro posuvové soustavy s dlouhým zdvihem* [online]. Brno, 2015 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=102890. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Prof. Ing. Jiří Marek, Dr.
- [26] Extra long ball screw. In: *Barnes Industries, Inc.* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://www.barnesballscrew.com/extra-long-ball-screw/>
- [27] Matice typu RMV – poháněná matice s vloženými ložisky. *KSK precise motion* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://www.ksk-pm.cz/kulickove-srouby/typy-maticovych-jednotek/matice-typu-rmv-pohanena-matice-s-vlozenymi-lozisky/>
- [28] Matice typu RMI – poháněná matice s integrovanými ložisky. *KSK precise motion* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://www.ksk-pm.cz/kulickove-srouby/typy-maticovych-jednotek/matice-typu-rmi-pohanena-matice-s-integrovanymi-lozisky/>
- [29] Kuličkové šrouby. In: *HIWIN: Intelligence v pohybu* [online]. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/download/412027faa299ee3d165376cc39199ad2>
- [30] Poháněná matice AME. *HIWIN: Intelligence v pohybu* [online]. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: http://www.hiwin.cz/cz/produkty/kulickove-srouby/okruzovane-srouby/62_pohanena-matice-ame
- [31] Ložiska ZKLF s kosoúhlým stykem. In: *HIWIN: Intelligence v pohybu* [online]. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: http://www.hiwin.cz/cz/produkty/kulickove-srouby/ostatni-prislusenstvi/197_loziska-zklf-s-kosouhlym-stykiem

- [32] R1 Series Rotating Nut Ballscrews. *HIWIN* [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: http://www.hiwin.tw/products/bs/rotating_nut/r1.aspx
- [33] R2 Series Rotating Nut Ballscrews. *HIWIN* [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: http://www.hiwin.tw/products/bs/rotating_nut/r2.aspx
- [34] Ballscrew: Technical Information. In: *HIWIN* [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <https://www.hiwin.com/pdf/ballscrews.pdf>
- [35] Mazací návod pro kuličkové šrouby. In: *HIWIN: Intelligence v pohybu* [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/download/96c571a0013b4a475f582be7f2937aa7>
- [36] Screw Assemblies. In: *Bosch Rexroth* [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: https://dc-us.resource.bosch.com/media/us/products_13/product_groups_1/linear_motion_technology/pdfs_5/R999001185.pdf
- [37] FAR-B-S, Driven Rotating Nut. *Bosch Rexroth* [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <https://www.boschrexroth.com/en/us/products/product-groups/linear-motion-technology/screw-assemblies/ball-screw-assemblies/far-driven-nut/index>
- [38] Rotating nut SLT / TLT. *SKF* [online]. [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <http://www.skf.com/group/products/motion-technologies/ball-and-roller-screws/ball-screws/rotating-nuts/index.html>
- [39] Rotating nut - SKF SLT TLT. *Ihb: IMHOF HÄUSERMANN AG BIRSFELDEN* [online]. [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <https://www.ihb.ch/en/Products/801-ball-screws-and-roller-screws/rotating-nut-skf-slt-tlt>
- [40] Designs and variants: SKF standard assortment. *SKF* [online]. [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/angular-contact-ball-bearings/single-row-angular-contact-ball-bearings/designs-and-variants/index.html>
- [41] Single row angular contact ball bearings. *SKF* [online]. [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/angular-contact-ball-bearings/single-row-angular-contact-ball-bearings/index.html>
- [42] General Catalog: Linear Motion Systems. In: *Technico, Inc.* [online]. [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <https://www.technico.com/pdf/500-1e.pdf>
- [43] Technické informace HIWIN PLO-05. In: *HIWIN: Intelligence v pohybu* [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/download/d6486b2ea209a480a7fbf4850301c9cf>
- [44] Recommended Grease. *Steinmeyer* [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://drive.steinmeyer.com/technology/lubrication-and-wipers/grease-lubrication/recommended-grease/>
- [45] STABURAGS NBU 8 EP. *KLÜBER LUBRICATION* [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://www.klueber.com/en/product-detail/id/1020/>
- [46] Univerzální plastické mazivo pro průmyslové a automobilové aplikace NLGI 2. *SKF* [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/lubrication-solutions/lubricants/general-purpose-industrial-and-automotive-nlgi-2-grease/index.html>
- [47] Oil Lubriation. *Steinmeyer* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://drive.steinmeyer.com/technology/lubrication-and-wipers/oil-lubrication/>

- [48] Mazací systémy s oběhem oleje: SKF CircOil. *SKF* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/lubrication-solutions/lubrication-systems/circulating-oil-lubrication-systems/index.html>
- [49] CIRCULATING OIL SYSTEM OPERATION. In: *FLO components* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: https://www.flocomponents.com/sln_circoil_lube_systems/
- [50] Vícekriteriální rozhodování za jistoty: Část I. In: *Ekonomická fakulta: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích* [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <http://www2.ef.jcu.cz/~jfrieb/tspp/data/teorie/Vicekritko.pdf>
- [51] Nejlepší inovátoři jižní Moravy: 3. místo. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nejlepsi-inovatori-jizni-moravy.html>
- [52] Ocel ČSN 11600. *T-PROM s.r.o.* [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.tprom.cz/wiki/ocel/11600>
- [53] Kuličková ložiska: 61818-2RZ. *SKF* [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=61818-2RZ&unit=metricUnit>
- [54] 90x110x7.50 HMSA7P2 R. In: *SKF* [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/seals/industrial-seals/power-transmission-seals/radial-shaft-seals-pt/index.html?designation=90x110x7.50%20HMSA7P2%20R>
- [55] Nitrilkaučuk (R). *SKF* [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/seals/materials/elastomers/nbr/nitrile-rubber/index.html>
- [56] ZHANG, C. *Advances in Ceramic Matrix Composites* [online]. Woodhead Publishing Limited, 2014. ISBN 978-0-85709-882-5.
- [57] KUTÍLEK, Tomáš. Elastohydrodynamické mazání poddajných třecích povrchů. In: *DOCPLAYER* [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/47772572-Elastohydrodynamicke-mazani-poddajnych-trecich-povrchu.html>
- [58] DUNDÁLEK, Radim. *Elastohydrodynamické modely ložisek jako moduly virtuálního motoru* [online]. Brno, 2016 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://www.vutium.vutbr.cz/tituly/pdf/ukazka/80-214-3199-7.pdf>. Dizertáční práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [59] Elastohydrodynamic Lubrication (EHL): Theory and Definition. *Tribonet: about tribology* [online]. 2017 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://www.tribonet.org/wiki/elastohydrodynamic-lubrication-ehl/>
- [60] Theory of Elasto-Hydrodynamic (EHD) Lubrication. *Steinmeyer* [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://drive.steinmeyer.com/technology/lubrication-and-wipers/oil-lubrication/ehd-lubrication/>
- [61] BRHLÍK, Rostislav, Ildikó FICZA, David NEČAS a Ivan KŘUPKA. *PROBLEMATIKA MODELOVÁNÍ ELASTOHYDRODYNAMICKÉHO MAZÁNÍ S VYUŽITÍM MKP* [online]. Brno [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: http://www2.humusoft.cz/www/papers/tcp2015/012_brhlik.pdf. Vysoké učení technické v Brně.
- [62] Jaký je rozdíl mezi přenosem tepla vedením, prouděním a sáláním?. *E-konstrukér: Portál pro strojní konstruktéry* [online]. 2015 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://e->

konstrukter.cz/novinka/jaky-je-rozdil-mezi-prenosem-tepla-vedenim-proudenim-a-salanim

- [63] ROSYPAL, Štěpán. *Výměníky tepla* [online]. Brno, 2010 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29102. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Matek Baláš.
- [64] PA-6: Charakteristika. *Antonín Dub: výroba plastů* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.dub-plast.cz/charakteristika.html>

14 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

14.1 Seznam zkratk

KŠM	– kuličkový šroub s maticí
KNB	– kubický nitrid boru
3D	– tři dimenze
KSK – PM	– KSK Precise Motion, a.s.
EHD	– elastohydrodynamické mazání

14.2 Seznam symbolů

$A0_{\max}$	– dolní mez tolerance šířky vnějšího kroužku	[mm]
$A0_{\min}$	– horní mez tolerance šířky vnějšího kroužku	[mm]
$A1_{\max}$	– dolní mez tolerance šířky kapsy pro ložisko a distanční kroužek (levé)	[mm]
$A1_{\min}$	– horní mez tolerance šířky kapsy pro ložisko a distanční kroužek (levé)	[mm]
$A2_{\max}$	– dolní mez tolerance šířky kapsy pro hřídelové těsnění (levé)	[mm]
$A2_{\min}$	– horní mez tolerance šířky kapsy pro hřídelové těsnění (levé)	[mm]
$A3_{\max}$	– dolní mez tolerance šířky vnějšího kroužku	[mm]
$A3_{\min}$	– horní mez tolerance šířky vnějšího kroužku	[mm]
$A4_{\max}$	– dolní mez tolerance šířky kapsy pro hřídelové těsnění (pravé)	[mm]
$A4_{\min}$	– horní mez tolerance šířky kapsy pro hřídelové těsnění (pravé)	[mm]
$A5_{\max}$	– dolní mez tolerance šířky kapsy pro ložisko a distanční kroužek (pravé)	[mm]
$A5_{\min}$	– horní mez tolerance šířky kapsy pro ložisko a distanční kroužek (pravé)	[mm]
a_s	– posuvové zrychlení šroubu	[m/s ²]
$B0_{\max}$	– dolní mez tolerance šířky distančního kroužku	[mm]
$B0_{\min}$	– horní mez tolerance šířky distančního kroužku	[mm]
$B1_{\max}$	– dolní mez tolerance šířky kapsy pro ložisko a distanční kroužek (levé)	[mm]
$B1_{\min}$	– horní mez tolerance šířky kapsy pro ložisko a distanční kroužek (levé)	[mm]
$B2_{\max}$	– dolní mez výrobní tolerance šířky ložiska	[mm]
$B2_{\min}$	– horní mez výrobní tolerance šířky ložiska	[mm]
b_c	– celkový počet bodů rozdělovaných mezi kritéria	[-]
b_i	– body přidělené kritériu i	[-]
C	– Základní dynamická únosnost ložiska	[kN]
C_0	– Základní statická únosnost ložiska	[kN]
c_{ol}	– měrná tepelná kapacita oleje	[J/kg K]
D_1	– střední průměr závitu kuličkové matice	[m]

D₂	– vnější průměr tělesa matice	[m]
d_s	– malý průměr závitu šroubu	[mm]
d_t	– rozdíl teplot na povrchu stěny	[°C]
f₀	– Výpočtový součinitel	[-]
F_a	– Axiální zatížení na ložisku	[N]
F_o	– síla vzniklá od zrychlení soustavy	[N]
g	– Tíhové zrychlení	[m/s ²]
J_s	– setrvačný moment rotujících částí varianty 2	[kg/m ²]
k	– koeficient bezpečnosti pro použití šroubů	[-]
k_r	– Výpočtový součinitel	[-]
L₀	– počáteční délka součásti	[m]
L_m	– délka tělesa matice	[m]
M_k	– moment vzniklý od zrychlení sestavy	[Nm]
m_{or}	– Hmotnost vnějšího kroužku	[kg]
n_{mL}	– Mezní otáčky ložiska	[ot/min]
n_{rd}	– počet radiálních drážek	[-]
n_{rL}	– Referenční otáčky ložiska	[ot/min]
n_s	– počet šroubů	[-]
o_v	– volný obvod pod vstupem maziva	[%]
p	– Exponent pro výpočet trvanlivosti ložiska	[-]
P	– stoupání závitu kuličkového šroubu	[mm]
P_u	– Mezní únavové zatížení	[kN]
q̇	– měrný tepelný tok	[W/m ²]
Q̇	– teplotní tok válcovou stěnou	[W]
Q_m	– hmotnostní průtok maziva	[kg/s]
Q_v	– objemový průtok maziva	[m ³ /s]
r_{ss}	– poloměr šroubového spojení	[m]
S_s	– střižná plocha jednoho šroubu	[mm ²]
T	– absolutní teplota tělesa	[K]
T_∞	– teplota tekutiny v dostatečné vzdálenosti od povrchu	[K]
t_{m1}	– počáteční teplota matice	[K]
t_{m2}	– žádaná teplota matice	[K]
t_{o1}	– teplota oleje na vstupu	[K]
t_{o2}	– teplota oleje na výstupu	[K]
T_w	– teplota povrchu obtékaného tělesa	[K]
w_i	– váha kritéria i	[-]
X	– Výpočtový součinitel radiálního zatížení	[-]

Y	– Výpočtový součinitel axiálního zatížení	[-]
α	– koeficient teplotní roztažnosti	[m/m K]
α_t	– součinitel přestupu tepla	[W/m ² K]
α_{rd}	– úhlová šířka radiální drážky	[°]
δ	– tloušťka stěny	[m]
ΔL	– přírůstek délky	[m]
ΔT	– rozdíl počáteční a konečné teploty součásti	[K]
Δt_s	– střední logaritmický rozdíl teplot	[K]
ε_s	– úhlové zrychlení sestavy	[rad/s ²]
λ	– tepelná vodivost	[W/m K]
λ_{oc}	– tepelná vodivost oceli	[W/m K]
ρ_{ol}	– hustota proudícího oleje	[kg/m ³]
σ	– Stefan-Boltzmanova konstanta ($s = 5,67032 \cdot 10^{-8}$)	[W/m ² K ⁴]
σ_k	– mez kluzu šroubu třídy 10.9	[MPa]
τ_{DS}	– dovolené napětí ve střihu	[MPa]
τ_s	– střihové napětí na jednom šroubu	[MPa]

14.3 Seznam obrázků

Obr. 1)	Logo společnosti KSK Precise Motion, a.s. [51].....	19
Obr. 2)	Řez typickou kuličkovou maticí [THK] [4].....	21
Obr. 3)	Gotický profil (vlevo) a kruhový profil (vpravo) závitu.....	22
Obr. 4)	Řez maticí a externím převodem kuliček [Rockford ball screw] [11].....	24
Obr. 5)	Převáděcí lůžko [KSK PM].....	25
Obr. 6)	Vizualizace způsobu užití lůžkových převaděčů [KSK PM].....	25
Obr. 7)	Radiální segment [KSK PM]	26
Obr. 8)	Vizualizace způsobu užití radiálních segmentů [KSK PM].....	26
Obr. 9)	Axiální segment [KSK PM]	27
Obr. 10)	Vizualizace způsobu užití axiálních segmentů [KSK PM].....	27
Obr. 11)	Porovnání funkčnosti bez užití a s užitím oddělovačů [12]	28
Obr. 12)	Předepnutí kuličkového šroubu výběrem kuliček [17]	29
Obr. 13)	Předepnutí kuličkového šroubu distančním kroužkem [17]	30
Obr. 14)	Předepnutí kuličkového šroubu posunutím chodů [17]	31
Obr. 15)	Předepnutí kuličkového šroubu diferencí ve stoupání [17]	31
Obr. 16)	Pohybové možnosti kuličkového šroubu [18].....	32
Obr. 17)	Řez rotující maticí [THK] [20]	33
Obr. 18)	Sestava náhonu rotující matice [SKF] [22].....	34
Obr. 19)	Řez motorem s dutým rotorem a upevněným KŠM [STÖBER] [23].....	34
Obr. 20)	Použití rotující matice uložené ve stolu stroje [20].....	34
Obr. 21)	Použití rotující matice uložené na základu stroje [20].....	35
Obr. 22)	Graf závislosti vyráběné délky na průměru	36
Obr. 23)	Aplikace KŠM s rotující maticí [Barnes Industries] [26]	37

Obr. 24)	Rotující matice s vloženými ložisky [KSK PM] [27].....	38
Obr. 25)	Rotující matice s integrovanými ložisky [KSK PM] [28]	39
Obr. 26)	Výkres rotující matice BLR se základními rozměry [THK] [20].....	42
Obr. 27)	Výkres rotující matice DIR se základními rozměry [THK] [20].....	43
Obr. 28)	Schéma mazání rotující matice [THK] [20]	44
Obr. 29)	Nákres rotující matice FSWT [PMI] [Příloha E2].....	45
Obr. 30)	Nákres rotující matice FSKT [PMI] [Příloha E2].....	47
Obr. 31)	Způsob mazání rotující matice FSWT [PMI] [Příloha E1]	48
Obr. 32)	Rotující matice AME [HIWIN] [30]	48
Obr. 33)	Řez ložiskem ZKLF [31]	49
Obr. 34)	Konstrukční řešení matice AME [HIWIN] [29]	50
Obr. 35)	Rotující matice R1 [HIWIN] [32].....	51
Obr. 36)	Nákres rotující matice R1 [HIWIN] [34].....	51
Obr. 37)	Rotující matice R2 [HIWIN] [33].....	52
Obr. 38)	Návrh hřídele kuličkového šroubu s kanálky pro mazání rotující matice	52
Obr. 39)	Rotující matice FAR-B-S [Rexroth BOSCH group] [36].....	54
Obr. 40)	Nákres rotující matice FAR-B-S [Rexroth BOSCH group] [36].....	54
Obr. 41)	Nákres rotující matice [Steinmeyer] [24]	56
Obr. 42)	Mazací jednotka připojena k tělesu rotující matice [Steinmeyer] [Příloha E3].....	58
Obr. 43)	Řez mazací jednotkou [Steinmeyer] [Příloha E3]	58
Obr. 44)	Rotující matice SLT [SKF] [39]	59
Obr. 45)	Radiálně-axiální ložisko řady 72 [SKF] [40].....	60
Obr. 46)	Nákres rotující matice [SKF] [22]	60
Obr. 47)	Princip chlazení kuličkové matice [HIWIN] [34]	64
Obr. 48)	Graf průběhu změn teploty na hřídeli kuličkového šroubu [NSK] [15].....	65
Obr. 49)	Diagram možností chlazení a mazání	68
Obr. 50)	System mazání SKF CircOil [SKF] [49]	70
Obr. 51)	Diagram kritických míst konstrukce přípojné jednotky	71
Obr. 52)	Částečný řez variantou 1	72
Obr. 53)	Čelní řezy variantou 1 s ukázkou cest maziva	73
Obr. 54)	Princip uložení vnějšího kroužku varianty 1	73
Obr. 55)	Částečný řez variantou 2	74
Obr. 56)	Čelní řez variantou 2 s ukázkou cesty maziva	75
Obr. 57)	Princip uložení vnějšího kroužku varianty 2	75
Obr. 58)	Částečný řez variantou 3	75
Obr. 59)	Princip uložení vnějšího kroužku varianty 3	76
Obr. 60)	Graf rozvrhnutí hodnot vah jednotlivých kritérií.....	80
Obr. 61)	Realistický pohled na přípojnou jednotku	83
Obr. 62)	Izometrický pohled na vnitřní kroužek	84
Obr. 63)	Řez středem vnitřního kroužku v nárysovém pohledu	85
Obr. 64)	Řez středem vnějšího kroužku v nárysovém pohledu	88
Obr. 65)	Distanční kroužek s detailem průřezu.....	89
Obr. 66)	Náčrt pro výpočet šířkové tolerance distančního kroužku	90
Obr. 67)	Náčrt pro výpočet šířkové tolerance vnějšího kroužku	91
Obr. 68)	Ucpávka jednoduchého provedení.....	92
Obr. 69)	Model ložiska 61818-2RZ-Y v řezu	93
Obr. 70)	Grafické znázornění hřídelového těsnění HMSA7P2 R [54]	95

Obr. 71)	Průběh tlaku a tloušťky filmu při EHD mazání [60].....	96
Obr. 72)	Zjednodušený návrh tělesa matice pro výpočet přenosu tepla.....	101
Obr. 73)	Vnitřní těleso chlazené rotující matice.....	105
Obr. 74)	Řez chlazenou rotující maticí v místě přívodu chladiva	106
Obr. 75)	Řez chlazenou rotující maticí v místě přívodu maziva pro ložiska	107
Obr. 76)	Řez chlazenou rotující maticí v místě přívodu maziva do pracovního prostoru KŠM	107

14.4 Seznam tabulek

Tab 1)	Výhody a nevýhody užití rotující matice [19] [20] [21] [24].....	36
Tab 2)	Nabízené rozměrové varianty matice RMV [27]	38
Tab 3)	Nabízené rozměrové varianty matice RMI [28].....	39
Tab 4)	Základní rozměry a technické vlastnosti rotující matice BLR [20]	42
Tab 5)	Základní rozměry a technické vlastnosti rotující matice DIR [20]	43
Tab 6)	Základní rozměry a technické vlastnosti rotující matice FSWT [Příloha E2]	46
Tab 7)	Základní rozměry a technické vlastnosti rotující matice FSKT [Příloha E2]	47
Tab 8)	Základní rozměry a technické vlastnosti rotující matice AME [29]	50
Tab 9)	Základní rozměry a technické vlastnosti rotující matice R1 [34]	51
Tab 10)	Základní rozměry a technické vlastnosti rotující matice FAR-B-S [36].....	55
Tab 11)	Základní rozměry a technické vlastnosti rotující matice firmy Steinmeyer [24]	57
Tab 12)	Základní rozměry rotující matice SLT/ TLT [22]	61
Tab 13)	Únosnosti prvků soustavy KŠM s rotující maticí [22]	61
Tab 14)	Možné kombinace provedení chlazení a mazání.....	68
Tab 15)	Způsob použití výběru pomocí bodovací metody	79
Tab 16)	Příklad rozdělení kritérií do posuzovacích intervalů.....	79
Tab 17)	Kritéria hodnocení a jejich váhy	80
Tab 18)	Ohraničení kritérií pro bodové hodnocení.....	81
Tab 19)	Výsledné hodnoty nabízených variant vzhledem ke kritériím	82
Tab 20)	Výsledný výběr nejvhodnější varianty	82
Tab 21)	Výčet součástí sestavy přípojné jednotky	83
Tab 22)	Hodnoty potřebné pro výpočet šroubů na střih	86
Tab 23)	Hodnoty tolerancí v tolerančním řetězci B.....	90
Tab 24)	Hodnoty tolerancí v tolerančním řetězci A	91
Tab 25)	Parametry ložiska SKF 61818-2RZ-Y [53].....	93
Tab 26)	Hodnoty potřebné pro výpočet trvanlivosti ložisek	94
Tab 27)	Hodnoty potřebné pro výpočet průtoku oleje.....	101
Tab 28)	Zhodnocení vlastního návrhu chlazené rotující matice.....	108

15 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha	Název	Typ souboru	Verze
A	Modely a výkresová dokumentace pro přípojnou jednotku K63	adresář	elektronicky
A1	K63 Pripojna jednotka	pdf	elektronicky + vložen
A2	K63_Vnitřni_krouzek	pdf	elektronicky + vložen
A3	K63_Distancni_krouzek	pdf	elektronicky + vložen
A4	K63_Vnější_krouzek	pdf	elektronicky + vložen
A5	Ucpavka_K63x30_7_938	pdf	elektronicky + vložen
A6	K63 Pripojna jednotka	STEP	elektronicky
A7	K63_Vnitřni_krouzek	STEP	elektronicky
A8	K63_Distancni_krouzek	STEP	elektronicky
A9	K63_Vnější_krouzek	STEP	elektronicky
A10	Ucpavka_K63x30_7_938	STEP	elektronicky
A11	K63_gufero_skf_90x1110x7.50 HMSA7P2 R	STEP	elektronicky
A12	K63_ložisko_skf_61818-2Z-Y	STEP	elektronicky
A13	K63_pojistna_podložka_DIN471-90x3	STEP	elektronicky
B	Modely a výkresová dokumentace pro přípojnou jednotku K50	adresář	elektronicky
B1	Pripojna jednotka K50	pdf	elektronicky + vložen
B2	K50_Vnitřni_krouzek	pdf	elektronicky + vložen
B3	K50_Distancni_krouzek	pdf	elektronicky + vložen
B4	K50_Vnější_krouzek	pdf	elektronicky + vložen
B5	Ucpavka_K50x20_7_938	pdf	elektronicky + vložen
B6	Pripojna jednotka K50	STEP	elektronicky
B7	K50_Vnitřni_krouzek	STEP	elektronicky
B8	K50_Distancni_krouzek	STEP	elektronicky
B9	K50_Vnější_krouzek	STEP	elektronicky
B10	Ucpavka_K50x20_7_938	STEP	elektronicky
B11	HMSA10_70X85X8	STEP	elektronicky
B12	61814-2RZ	STEP	elektronicky
B13	Pojistny_krouzek_70	STEP	elektronicky
C	Modely a výkresová dokumentace pro přípojnou jednotku K80	adresář	elektronicky
C1	K80_Pripojna jednotka	pdf	elektronicky + vložen
C2	K80_Vnitřni_krouzek	pdf	elektronicky + vložen

C3	K80_Distancni_krouzek	pdf	elektronicky + vložen
C4	K80_Vnejsi_krouzek	pdf	elektronicky + vložen
C5	Ucpavka_K80x20_12_7	pdf	elektronicky + vložen
C6	K80_Pripojna_jednotka	STEP	elektronicky
C7	K80_Vnitri_krouzek	STEP	elektronicky
C8	K80_Distancni_krouzek	STEP	elektronicky
C9	K80_Vnejsi_krouzek	STEP	elektronicky
C10	Ucpavka_K80x20_12_7	STEP	elektronicky
C11	105_125_13_WAS_NBR_Rubena	STEP	elektronicky
C12	61821-2RZ	STEP	elektronicky
C13	Pojistny_krouzek_105	STEP	elektronicky
D	Modely vlastního návrhu rotující matice s integrovaným chlazením a mazáním	adresář	elektronicky
D1	K63_rotujici_matice	STEP	elektronicky
D2	AP_matice_vnitri_teleso	STEP	elektronicky
D3	Axialni_segment_KONFIGURACE	STEP	elektronicky
D4	Mezikruzi	STEP	elektronicky
D5	Vicko	STEP	elektronicky
D6	Vnejsi_krouzek	STEP	elektronicky
D7	Vymezeni_gufer_levy	STEP	elektronicky
D8	Vymezeni_gufer_pravy	STEP	elektronicky
D9	Kolik_3	STEP	elektronicky
D10	120x150x12 HMSA10 RG	stp	elektronicky
D11	140x180x12 HMSA10 RG	stp	elektronicky
D12	7024 BGM	stp	elektronicky
D13	O-krouzek_116x3	STEP	elektronicky
D14	O-krouzek_130x3	STEP	elektronicky
D15	Tesneni_100_10x3	STEP	elektronicky
E	Interní a katalogové publikace společností PMI GROUP a August Steinmeyer GmbH & Co. KG	adresář	elektronicky
E1	PMI - lubrication	pdf	elektronicky
E2	PMI – rotary nut	pdf	elektronicky
E3	Steinmeyer - B-S for machine tools	pdf	elektronicky
F	Daty pro výběr nejlepší varianty	adresář	elektronicky
F1	Výběr_nejlepší_varianty	xlsx	elektronicky
G	Přenosný disk pro uložení příloh	CD-ROM	vložen